



UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

UIT-T

SECTEUR DE LA NORMALISATION
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS
DE L'UIT

G.113

(03/93)

SYSTÈMES ET SUPPORTS DE TRANSMISSION

**RECOMMANDATIONS GÉNÉRALES RELATIVES
À LA QUALITÉ DE TRANSMISSION
D'UNE CONNEXION TÉLÉPHONIQUE
INTERNATIONALE COMPLÈTE**

DÉGRADATIONS DE LA TRANSMISSION

Recommandation UIT-T G.113

(Antérieurement «Recommandation du CCITT»)

AVANT-PROPOS

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

La Conférence mondiale de normalisation des télécommunications (CMNT), qui se réunit tous les quatre ans, détermine les thèmes que les Commissions d'études de l'UIT-T doivent examiner et à propos desquels elles doivent émettre des Recommandations.

La Recommandation révisée UIT-T G.113, élaborée par la Commission d'études XII (1988-1993) de l'UIT-T, a été approuvée par la CMNT (Helsinki, 1-12 mars 1993).

NOTES

1 Suite au processus de réforme entrepris au sein de l'Union internationale des télécommunications (UIT), le CCITT n'existe plus depuis le 28 février 1993. Il est remplacé par le Secteur de la normalisation des télécommunications de l'UIT (UIT-T) créé le 1^{er} mars 1993. De même, le CCIR et l'IFRB ont été remplacés par le Secteur des radiocommunications.

Afin de ne pas retarder la publication de la présente Recommandation, aucun changement n'a été apporté aux mentions contenant les sigles CCITT, CCIR et IFRB ou aux entités qui leur sont associées, comme «Assemblée plénière», «Secrétariat», etc. Les futures éditions de la présente Recommandation adopteront la terminologie appropriée reflétant la nouvelle structure de l'UIT.

2 Dans la présente Recommandation, le terme «Administration» désigne indifféremment une administration de télécommunication ou une exploitation reconnue.

© UIT 1994

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

		<i>Page</i>
1	Réduction de la qualité de transmission.....	1
2	Objectif de fonctionnement du réseau pour le bruit de circuit sur des connexions téléphoniques complètes.....	1
3	Dégradation de la transmission due aux processus numériques.....	1
3.1	Distorsion de quantification.....	1
3.2	Sources de distorsion de quantification.....	2
3.3	Effet des erreurs aléatoires sur les bits.....	4
3.4	Distorsion d'affaiblissement et distorsion de temps de propagation de groupe.....	4
3.5	Règle provisoire de planification.....	4
3.6	Limites de la règle de planification provisoire.....	4
4	Effets des dégradations de la transmission sur la qualité de transmission des données dans la bande des fréquences vocales.....	5
Annexe A – Renseignements donnés à des fins de planification sur la distorsion d'affaiblissement et la distorsion de temps de propagation de groupe introduites par les circuits et les commutateurs du réseau téléphonique à commutation.....		6
Annexe B – Effet des dégradations de la transmission sur les données transmises dans la bande des fréquences téléphoniques.....		9
B.1	Introduction.....	9
B.2	Bruit impulsif.....	10
B.3	Temps de propagation de groupe.....	10
B.4	Gigue de phase.....	11
B.5	Distorsion non linéaire.....	11
B.6	Rapport tonalité/bruit.....	12
B.7	Déplacement de fréquence.....	12
B.8	Transitoires de gain et de phase.....	12
Annexe C – Effet de la MICDA sur la qualité de transmission des données dans la bande des fréquences vocales.....		13
C.1	Introduction.....	13
C.2	Configurations d'essais.....	14
C.3	Conclusions.....	20
Références.....		21
Annexe D – Compatibilité des algorithmes de codage des signaux vocaux et des données dans la bande vocale.....		21
Référence.....		21

DÉGRADATIONS DE LA TRANSMISSION

*(Genève, 1980; modifiée à Malaga-Torremolinos, 1984;
Melbourne, 1988 et Helsinki, 1993)*

1 Réduction de la qualité de transmission

1.1 Les objectifs en matière de distorsion d'affaiblissement pour une chaîne à 4 fils de longueur maximale sont donnés dans la Recommandation G.132 et ceux qui concernent les caractéristiques de bruit indépendantes du signal de ces connexions figurent à l'article 2. Etant donné que des connexions moins complexes (qui sont les plus nombreuses) donnent lieu à une distorsion d'affaiblissement et à un bruit moindres, les valeurs maximale, moyenne et minimale de l'équivalent pour la sonie spécifiées dans la Recommandation G.121 assurent une qualité de transmission suffisante pour les connexions internationales.

1.2 Si l'on prévoit des valeurs de distorsion d'affaiblissement et de bruit très différentes de celles que spécifie le CCITT pour les systèmes et les équipements, on trouvera des directives relatives aux modifications possibles de la qualité de transmission ainsi que des indications de pondération possible de ces modifications dans la Recommandation P.11 et annexes.

2 Objectif de fonctionnement du réseau pour le bruit de circuit sur des connexions téléphoniques complètes

Le CCITT recommande que l'objectif de fonctionnement du réseau pour la valeur moyenne, exprimée en décibels et prise sur un grand nombre de connexions mondiales (comprenant chacune quatre circuits internationaux), de la distribution de la valeur moyenne pendant une minute de la puissance de bruit indépendante du signal, ne doit pas dépasser -43 dBm_{0p}, rapportée à l'entrée du premier circuit de la chaîne des circuits internationaux.

3 Dégradation de la transmission due aux processus numériques

L'incorporation de processus numériques non intégrés dans les connexions téléphoniques internationales, en particulier au cours de la période d'exploitation mixte analogique et numérique, peut aboutir à une accumulation sensible de dégradations de transmission. Il est donc nécessaire de veiller à ce que les dégradations cumulatives n'atteignent pas des proportions telles que la qualité globale de transmission s'en trouve sérieusement altérée.

3.1 Distorsion de quantification

Du point de vue de la distorsion de quantification, il est recommandé qu'une connexion téléphonique internationale ne comporte pas plus de 14 unités de distorsion de quantification (qdu) ou de distorsion de code totale équivalente.

Dans le cas de connexions téléphoniques qui comportent des processus numériques non intégrés, on peut se contenter d'additionner les unités de distorsion de quantification qui ont été assignées aux processus individuels pour déterminer la distorsion de quantification globale. On trouvera au paragraphe 3.2 l'énumération de certaines sources de distorsion de quantification et l'indication des unités qui leur sont assignées à titre provisoire.

Par définition, un couple de codecs à 8 bits en moyenne (conversions A/D et D/A, loi A ou μ) conforme à la Recommandation G.711, introduit une unité de distorsion de quantification (1 qdu). Un couple de codecs moyen produit une distorsion de quantification inférieure d'environ 2 dB aux limites indiquées dans la Recommandation G.712. Cela correspondrait à un rapport signal/distorsion de 35 dB pour la méthode d'essai du signal sinusoïdal et d'environ 36 dB pour la méthode d'essai du bruit. (Un nombre total de 14 processus MIC à 8 bits dont chacun satisferait tout juste aux limites du rapport signal/distorsion de la Recommandation G.712 serait inacceptable.) Le même principe devrait être appliqué lorsqu'on propose des valeurs de planification des unités de distorsion de quantification pour d'autres processus numériques.

TABLEAU 1/G.113

Valeurs de planification pour la distorsion de quantification

(Services vocaux uniquement; voir l'article 4 pour considérer les données dans la bande vocale)
(voir les Notes 1, 11 et 12)

Processus numérique	Unités de distorsion de quantification (qdu)	Notes
Processus faisant intervenir la conversion A/D		
Couple de codecs MIC à 8 bits (conformément à la Recommandation G.711, loi A ou μ)	1	2, 3
Couple de codecs MIC à 7 bits (loi A ou μ)	3	3, 4, 5
Paire de transmultiplexeurs (fondée sur MIC à 8 bits, loi A ou μ) (conformément à la Recommandation G.792)	1	3
MICDA à 32 kbit/s (avec prédicteur adaptatif) (combinaison d'un couple de codecs MIC à 8 bits et d'une conversion en cascade MIC-MICDA-MIC) (conformément aux Recommandations G.726 ou G.727)	3,5	6
Paire de codecs LD-CELP à 16 kbit/s (conformément à la Recommandation G.728)	3,5	13
Processus purement numérique		
Complément de ligne numérique (MIC à 8 bits, loi A ou μ)	0,7	7
Convertisseur loi A/ μ ou loi μ /A (conformément à la Recommandation G.711)	0,5	10
Conversion en cascade loi A/ μ /A	0,5	
Conversion en cascade loi μ /A/ μ	0,25	
Conversion en cascade MIC-MICDA-MIC (conformément aux Recommandations G.726 ou G.727)	2,5	8, 9
Transcodage 8-7-8 bits (loi A ou μ)	3	9
NOTES		
<p>1 Une remarque générale à formuler, concernant les unités de distorsion de quantification assignées aux différents processus numériques, est que les valeurs indiquées ont été établies pour un niveau moyen de signal gaussien d'environ -20 dBm0. Les cas traités dans le Supplément n° 21 (<i>Livre rouge</i>, fascicule III.1) sont conformes à cette hypothèse.</p> <p>2 Par définition.</p> <p>3 A des fins de planification générale, la moitié de la valeur peut être assignée soit du côté émission, soit du côté réception.</p> <p>4 Ce système n'est pas recommandé par le CCITT, mais certaines Administrations l'utilisent dans leurs réseaux nationaux.</p> <p>5 La réduction de qualité de transmission indiquée pour ce processus est fondée sur des essais subjectifs.</p> <p>6 Les Recommandations G.726 et G.727 offrent des caractéristiques équivalant à des débits binaires correspondants, y compris 24 et 40 kbit/s. Cependant des valeurs de qdu ne peuvent être actuellement assignées pour l'exploitation à 24 et 40 kbit/s.</p> <p>7 La dégradation indiquée est essentiellement la même pour tous les compléments de ligne numériques assurant un affaiblissement de 1 à 8 dB. Fait exception le complément de ligne «6 dB loi A» qui introduit une dégradation négligeable des signaux jusqu'à environ -30 dBm0 et qui donc apporte 0 unité de distorsion de quantification.</p> <p>8 La valeur de 2,5 unités a été calculée en soustrayant la valeur correspondant à un couple de codecs MIC à 8 bits d'une valeur de 3,5 unités déterminée subjectivement pour la combinaison d'un couple de codecs MIC à 8 bits et d'une conversion MIC-MICDA-MIC. Une valeur de 2,5 unités est assignée aux conversions numériques synchrones multiples, telles que MIC-MICDA et MIC-MICDA-MIC.</p> <p>9 Ce processus pourrait être utilisé dans un système de concentration numérique de la parole.</p> <p>10 La contribution d'unités de distorsion de quantification apportée par les convertisseurs de loi de codage (par exemple, de la loi μ à la loi A) est assignée à la partie internationale.</p> <p>11 L'assignation d'unités de distorsion de quantification à ces processus numériques ne représente autant que possible que l'effet de la distorsion de quantification sur la qualité de transmission des signaux vocaux. D'autres dégradations, telles que bruit de circuit, écho et distorsion d'affaiblissement portent aussi atteinte à cette qualité. On tiendra donc compte de ces autres dégradations dans le processus de planification.</p> <p>12 Les nombres de qdu indiqués dans ce tableau ont été établis en supposant négligeables les erreurs sur les bits.</p> <p>13 La distorsion produite dans le codec LD-CELP à 16 kbit/s semble être d'une nature différente de celle désignée en termes de qdu, car elle semble s'ajouter sur la base de $20 \log_{10}(n)$. Il convient de noter qu'une paire de codecs à 16 kbit/s produit une qualité de parole subjectivement équivalant à celle d'une paire de codecs MICDA à 32 kbit/s, tandis que trois paires de codecs à 16 kbit/s produisent une qualité de parole approximativement égale à celle produite par quatre paires de codecs MICDA à 32 kbit/s. Compte tenu de cette équivalence, on attribue donc une valeur de 3,5 qdu à un codec LD-CELP à 16 kbit/s (conformément à la Recommandation G.728), on considère que la qdu du codec à 16 kbit/s ne s'ajoute pas strictement aux qdu des autres rubriques du tableau.</p>		

3.3 Effet des erreurs aléatoires sur les bits

L'effet des erreurs aléatoires sur les bits est à l'étude.

3.4 Distorsion d'affaiblissement et distorsion de temps de propagation de groupe

Dans une recommandation provisoire formulée en 3.1, il est spécifié que la distorsion totale de quantification introduite par les processus numériques non intégrés dans les connexions téléphoniques internationales doit être limitée à 14 unités au maximum. Si cette recommandation provisoire est suivie, il semble que les distorsions cumulatives d'affaiblissement, d'une part, de temps de propagation de groupe, d'autre part, introduites dans ces connexions par les processus numériques non intégrés resteront également dans des limites acceptables.

NOTE – Les relations existant entre les limites imposées par la distorsion de quantification, la distorsion d'affaiblissement et la distorsion de temps de propagation de groupe sont à l'étude.

3.5 Règle provisoire de planification

Comme corollaire de la relation indiquée en 3.4 au sujet de la distorsion de quantification, de la distorsion d'affaiblissement et de la distorsion de temps de propagation de groupe, on peut recommander une règle de planification provisoire au sujet de l'incorporation de processus numériques non intégrés dans les connexions téléphoniques internationales. Cette règle provisoire s'exprime à l'aide de nombres d'unités de dégradation de transmission identiques aux nombres d'unités de distorsion de quantification assignés aux processus numériques spécifiques, conformément aux indications du Tableau 1. Cette règle de planification provisoire est la suivante:

Le nombre d'unités de dégradation de la transmission dans une connexion téléphonique internationale ne doit pas dépasser: $5 + 4 + 5 = 14$ unités.

Conformément à cette règle, chacune des deux portions nationales d'une connexion téléphonique internationale peut introduire jusqu'à 5 unités de dégradation de transmission, tandis que la portion internationale peut en introduire 4 au maximum.

NOTE – Il est reconnu que, au cours de la période d'exploitation mixte analogique et numérique, certains pays risquent d'avoir pendant quelque temps des difficultés pour limiter leur contribution nationale à 5 unités de dégradation de transmission au maximum. Pour tenir compte de l'existence de ces pays, on peut admettre, de façon temporaire, un assouplissement de la règle de planification provisoire en stipulant que la portion nationale d'une connexion téléphonique internationale peut introduire jusqu'à 7 unités de dégradation de transmission. Théoriquement, cela pourrait amener à des connexions téléphoniques internationales sur lesquelles la dégradation globale de transmission atteindrait 18 unités. Ces connexions introduiraient une pénalité supplémentaire de transmission en ce qui concerne le service téléphonique. Les Administrations qui estiment indispensable d'admettre une contribution nationale de plus de 5 unités (mais au plus égale à 7 unités) doivent faire en sorte que, sur les prolongements nationaux, cette contribution ne dépasse 5 unités que sur un faible pourcentage du trafic.

3.6 Limites de la règle de planification provisoire

Dans le paragraphe 3.5, il est admis que, pour estimer la dégradation de la transmission résultant de la présence dans les connexions téléphoniques internationales de processus numériques non intégrés, il y a équivalence entre les unités de dégradation de transmission et les unités de distorsion de quantification, de sorte qu'il suffit de procéder à une simple addition de ces deux types d'unités.

Dans le cas de circuits téléphoniques internationaux qui comportent des processus numériques en cascade dans un environnement entièrement numérique, l'addition des unités individuelles de distorsion de quantification risque de ne pas refléter correctement la distorsion cumulative de quantification (et, par conséquent, l'accumulation des unités de dégradation de transmission). Tel pourrait être le cas du fait que les valeurs individuelles de la puissance de distorsion de quantification produite par les divers processus numériques ne sont pas nécessairement dénuées de corrélation; dans certaines circonstances, l'addition des unités individuelles de distorsion de quantification risque donc de conduire à un total différent de celui qu'on observe en pratique. Ce phénomène est expliqué de façon plus détaillée dans le Supplément n° 21 au fascicule III.1 du *Livre rouge*.

Bien que, dans certaines conditions, la règle $5 + 4 + 5 = 14$ donnée en 3.5 puisse fournir des résultats qui ne sont qu'approximatifs, elle semble néanmoins convenir aux fins de la planification dans la majorité des cas, notamment lorsque des processus numériques non intégrés sont en cause. Des exemples de processus numériques en cascade, qui sont explicitement pris en considération dans le Tableau 1 sont la conversion de code A- μ -A, la conversion de code μ -A- μ et la conversion MIC-MICDA-MIC.

4 Effets des dégradations de la transmission sur la qualité de transmission des données dans la bande des fréquences vocales

Les dégradations de la transmission survenant dans les connexions téléphoniques portent autant atteinte à la qualité des données dans la bande des fréquences vocales qu'à la qualité des signaux vocaux. On relève dans une connexion de nombreuses dégradations dont certaines sont permanentes (affaiblissement, bruit, distorsion de quantification, gigue de phase, distorsions harmoniques et d'intermodulation, distorsion de temps de propagation de groupe, écho, distorsion d'affaiblissement, etc.) et dont certaines sont transitoires (bruit impulsif, sauts de phase ou de gain, interruptions, etc.) et peu fréquentes. Dans les deux cas, ces dégradations portent atteinte à la qualité de transmission des signaux et des données transmises dans la bande des fréquences vocales. Les transitoires ont cependant presque toujours un plus grand impact sur les données que sur les signaux vocaux, ce qui est également vrai de quelques dégradations en régime permanent, par exemple, la gigue de phase et la distorsion du temps de propagation de groupe. C'est pourquoi les règles de planification des circuits qui acheminent des signaux vocaux prêtent généralement plus d'attention à la protection contre les dégradations en régime permanent qu'à la protection contre les transitoires. Si l'on doit établir de nouvelles règles de planification afin de prévenir l'accumulation des dégradations importantes pour les données dans la bande des fréquences vocales, il faudra que ces nouvelles règles traitent des transitoires comme des dégradations permanentes.

La mesure dans laquelle certaines dégradations portent atteinte aux données dans la bande des fréquences vocales dépend de la rapidité du modem, de la modulation utilisée et d'autres caractéristiques (par exemple, la présence ou l'absence, dans le modem, d'un égaliseur pour corriger la distorsion de temps de propagation de groupe). Les modems peu rapides, fonctionnant à 1200 bit/s, ou moins, peuvent généralement tolérer un SNR plus bas que ne le font les modems plus rapides. Ils sont aussi moins sensibles que les modems rapides à la distorsion de temps de propagation de groupe. Les modems fonctionnant à 4800 bit/s, ou plus, contiennent généralement un égaliseur de distorsion de temps de propagation de groupe pour minimiser les effets de cette distorsion sur la qualité de transmission. Les transitoires affectent tous les modems, dans une mesure plus ou moins grande qui dépend de nombreux facteurs.

Deux autres facteurs dont dépend l'impact des dégradations sur la qualité de transmission des données dans la bande des fréquences vocales sont:

- a) l'utilisation ou l'inutilisation de techniques de détection d'erreur et/ou de correction d'erreur;
- b) la méthode de codage de l'information à transmettre.

Si la correction d'erreur est inemployée, les dégradations qui sont à l'origine des erreurs causeront des erreurs dans les données de sortie. Si la correction d'erreur est employée, les dégradations qui sont à l'origine des erreurs n'auront pour conséquence qu'une réduction du débit de sortie des données. Selon le codage de l'information d'usager, les erreurs auront des effets plus ou moins graves. Par exemple, la perte d'une lettre dans un mot, due à une erreur sur les 8 bits qui représentent les lettres de l'alphabet, est probablement moins importante qu'une erreur sur les 8 bits porteurs d'information sur la taille, la forme ou l'emplacement d'un symbole graphique dans une image.

Les techniques de compression des bits telles que MICDA (conformément à la Recommandation G.726) ont un effet très significatif sur la qualité de fonctionnement des modems à grande rapidité (≥ 4800 bit/s).

L'Annexe C indique les résultats d'études effectuées avec modulation MICDA à 32 kbit/s. Ces résultats montrent la nécessité d'utiliser des taux de codage plus élevés, tels que MICDA à 40 kbit/s pour la transmission de données dans la bande vocale (VBD) (*voice band data*) à 9,6 kbit/s. Les équipements de multiplication de circuits numériques (DCME) (*digital circuit multiplication equipment*) (voir la Recommandation G.763) modernes utilisent des classifications de signaux pour détecter les VBD à plus grande vitesse et codent ces données à l'aide de la MICDA à 40 kbit/s.

Si l'on considère l'élaboration d'une règle simple de planification utilisable pour évaluer les effets des processus numériques sur la qualité de transmission des données dans la bande des fréquences vocales, on attachera de l'importance à plusieurs points:

- 1) Les dégradations (en particulier les dégradations dues aux transitoires) autres que les dégradations habituellement mesurées pour évaluer la qualité de transmission des signaux vocaux prennent de l'importance dans la mesure de la qualité de transmission des données dans la bande des fréquences vocales.
- 2) Une simple mesure des dégradations en régime permanent (par exemple, rapport signal/bruit total) est peut-être une base insatisfaisante pour une règle de planification applicable aux données dans la bande des fréquences vocales. Une règle de planification peut devoir tenir compte des dégradations transitoires.
- 3) Le type et la rapidité du modem doivent être pris en considération. A la différence des règles de planification applicables aux signaux vocaux, les règles applicables aux données dans la bande des fréquences vocales peuvent se révéler spécifiques des modems considérés.
- 4) L'importance de certains types d'erreurs sur les données et, par conséquent, de certaines dégradations, peut dépendre du type de service de transmission de données. Les règles de planification peuvent donc être spécifiques des services considérés.

- 5) Seule une méthode de mesure objective tenant compte des quatre points qui précèdent constituera probablement une base fructueuse pour l'élaboration d'utiles règles de planification.
- 6) Une telle méthode de mesure n'existe pas de nos jours.

En conséquence, jusqu'à ce que de plus grands progrès aient été accomplis pour déterminer les dégradations qui portent atteinte à la qualité de transmission des données dans la bande des fréquences vocales, la façon de mesurer ces dégradations, les niveaux importants des dégradations en question et la manière dont peuvent être prises en considération les différences de types, rapidités et autres caractéristiques des modems, l'application de la présente Recommandation doit être limitée aux services téléphoniques.

Annexe A

Renseignements donnés à des fins de planification sur la distorsion d'affaiblissement et la distorsion de temps de propagation de groupe introduites par les circuits et les commutateurs du réseau téléphonique à commutation

(Cette annexe fait partie intégrante de la présente Recommandation)

A.1 Les renseignements fournis dans les Tableaux A.1 à A.6 proviennent de mesures¹⁾ effectuées sur un équipement moderne. Les caractéristiques des connexions effectivement établies sur le réseau téléphonique à commutation seront en principe moins bonnes que n'indiquent les calculs réalisés sur la base des données des tableaux, et cela pour plusieurs raisons:

- défaut d'adaptation et réflexion;
- présence de lignes d'abonné non chargées;
- présence de circuits de jonction chargés à faible fréquence de coupure;
- présence d'équipements plus anciens.

TABLEAU A.1/G.113

Commutateur local et centre primaire à deux fils

Fréquence (Hz)	Distorsion d'affaiblissement		Distorsion de temps de propagation de groupe	
	Valeur moyenne	Ecart type	Valeur moyenne	Ecart type
	(dB)	(dB)	(ms)	(ms)
200	1,69	1,20	0,56	0,07
300	0,63	0,81	0,28	0,05
400	0,30	0,43	0,23	0,05
600	0	0,28	0,11	0,03
800	0	0	0,05	0,02
1000	-0,05	0,11	0,03	0,01
2000	-0,04	0,35	0	0
2400	-0,29	0,45	0	0
2800	-0,45	0,50	0	0
3000	-0,24	0,65	0	0
3400	-0,29	0,63	0	0

NOTE – On peut admettre que la distorsion de temps de propagation de groupe est obtenue par rapport au temps de propagation de groupe à la fréquence d'environ 2000 Hz.

¹⁾ Fournies par AT&T, Telecom Australia, l'Italie, British Telecom, NTT et la Suisse.

TABLEAU A.2/G.113

Commutateurs à quatre fils

Fréquence (Hz)	Distorsion d'affaiblissement		Distorsion de temps de propagation de groupe	
	Valeur moyenne	Ecart type	Valeur moyenne	Ecart type
	(dB)	(dB)	(ms)	(ms)
200	0,32	0,14	0,40	0,02
300	0,16	0,28	0,14	0,02
400	0,13	0,21	0,14	0,03
600	0,02	0	0,07	0,02
800	0	0	0,03	0,01
1000	0	0	0,02	0,01
2000	0,01	0,14	0	0
2400	0,06	0,21	0	0
2800	0,02	0,02	0	0
3000	0,10	0,07	0	0
3400	0,20	0,50	0	0

NOTE – On peut admettre que la distorsion de temps de propagation de groupe est obtenue par rapport au temps de propagation de groupe à la fréquence d'environ 2000 Hz.

TABLEAU A.3/G.113

Circuits de jonction

Fréquence (Hz)	Distorsion d'affaiblissement		Distorsion de temps de propagation de groupe	
	Valeur moyenne	Ecart type	Valeur moyenne	Ecart type
	(dB)	(dB)	(ms)	(ms)
200	4,29	1,95	3,05	0,36
300	0,86	0,49	1,42	0,18
400	0,36	0,31	0,78	0,09
600	0,09	0,17	0,34	0,06
800	0	0,03	0,16	0,02
1000	-0,03	0,04	0,08	0,02
2000	0,14	0,20	0,02	0,01
2400	0,33	0,29	0,06	0,03
2800	0,58	0,35	0,18	0,06
3000	0,88	0,55	0,31	0,11
3400	2,21	1,06	0,92	0,26

NOTES

- On peut admettre que la distorsion de temps de propagation de groupe est obtenue par rapport au temps de propagation de groupe à la fréquence d'environ 1500 Hz.
- Les circuits de jonction faisant partie de l'étude étaient, selon les cas, à lignes métalliques ou du type FDM ou MIC.
- A 2000 Hz, les circuits MIC présentent parfois une distorsion d'affaiblissement un peu plus faible que la valeur indiquée ci-dessus.
- Les valeurs indiquées pour les circuits de jonction incluent celles des termineurs deux fils/quatre fils.

TABLEAU A.4/G.113

Circuits établis sur un groupe primaire direct à 12 voies

Fréquence (Hz)	Distorsion d'affaiblissement		Distorsion de temps de propagation de groupe	
	Valeur moyenne	Ecart type	Valeur moyenne	Ecart type
	(dB)	(dB)	(ms)	(ms)
200	1,56	0,92	5,42	0,22
300	0,39	0,43	2,97	0,35
400	0,11	0,30	1,45	0,22
600	0,05	0,18	0,76	0,10
800	0	0	0,44	0,05
1000	-0,01	0,11	0,26	0,02
2000	-0,03	0,19	0,01	0,01
2400	0,04	0,21	0,06	0,02
2800	0,13	0,33	0,21	0,04
3000	0,16	0,43	0,45	0,04
3400	1,03	0,56	1,97	0,20

NOTES

1 On peut admettre que la distorsion de temps de propagation de groupe est obtenue par rapport au temps de propagation de groupe à la fréquence d'environ 1800 Hz.

2 Les données concernent un équipement de modulation de voie FDM à espacement de 4 kHz, qui constitue la principale source de distorsion dans les circuits téléphoniques établis sur des groupes primaires directs à 12 voies, c'est-à-dire des circuits qui comportent une seule section.

TABLEAU A.5/G.113

Circuits établis sur un groupe primaire direct à 16 voies

Fréquence (Hz)	Distorsion d'affaiblissement		Distorsion de temps de propagation de groupe	
	Valeur moyenne	Ecart type	Valeur moyenne	Ecart type
	(dB)	(dB)	(ms)	(ms)
200	2,80	1,63	9,74	0,40
300	0,04	0,19	4,39	0,27
400	-0,07	0,20	2,49	0,09
600	0,02	0,09	1,02	0,56
800	0	0	0,47	0,35
1000	0,09	0,08	0,19	0,28
2000	0,06	0,12	0,03	0,14
2400	0,03	0,14	0,36	0,31
2800	0,03	0,16	1,59	1,06
3000	-0,01	0,28	4,29	0,38

NOTES

1 On peut admettre que la distorsion de temps de propagation de groupe est obtenue par rapport au temps de propagation de groupe à la fréquence d'environ 1200 Hz.

2 Les données concernent un équipement de modulation de voie FDM à espacement de 3 kHz, qui constitue la principale source de distorsion dans les circuits téléphoniques établis sur des groupes primaires directs à 16 voies, c'est-à-dire des circuits qui comportent une seule section.

TABLEAU A.6/G.113

Circuits comprenant trois sections (4 kHz + 3 kHz + 4 kHz)

Fréquence (Hz)	Distorsion d'affaiblissement		Distorsion de temps de propagation de groupe	
	Valeur moyenne	Ecart type	Valeur moyenne	Ecart type
	(dB)	(dB)	(ms)	(ms)
200	5,92	2,09	20,58	0,51
300	0,82	0,64	10,33	0,56
400	0,15	0,47	5,39	0,32
600	0,12	0,27	2,54	0,58
800	0	0	1,35	0,36
1000	0,07	0,17	0,71	0,28
2000	0	0,29	0,05	0,14
2400	0,11	0,33	0,48	0,31
2800	0,29	0,49	2,01	1,06
3000	0,31	0,67	5,19	0,38

NOTES

1 Ce tableau a été établi à partir des Tableaux A.4 et A.5, il se rapporte à des circuits internationaux où l'acheminement sur la section intermédiaire se fait à l'aide d'un équipement de voie à espacement de 3 kHz, par exemple une section de circuit en câble sous-marin.

2 On peut admettre que la distorsion de temps de propagation de groupe est obtenue par rapport au temps de propagation de groupe à la fréquence d'environ 1400 Hz.

A.2 La fréquence de référence est de 800 Hz pour la distorsion d'affaiblissement. Elle a été estimée dans chaque cas pour la distorsion de temps de propagation de groupe (c'est pour cette fréquence que le temps de propagation de groupe a sa plus faible valeur).

A.3 Les résultats indiqués pour les circuits ne tiennent pas compte des termineurs de signalisation de ligne tandis que les distorsions provoquées par ces équipements sont parfois incorporées dans les données relatives aux commutateurs.

Annexe B**Effet des dégradations de la transmission sur les données transmises dans la bande des fréquences téléphoniques**

(AT&T)

(Cette annexe fait partie intégrante de la présente Recommandation)

B.1 Introduction

Le plan actuel de transmission pour les connexions internationales fournit des directives sur le contrôle de la qualité de transmission, essentiellement dans le but d'assurer une transmission satisfaisante des signaux vocaux. Les principales dégradations ainsi que les effets produits sur ces signaux sont décrits dans la Recommandation P.11. Parmi ces dégradations, on peut citer notamment: l'affaiblissement en sonie, le bruit de circuit, l'affaiblissement en sonie de l'effet local, le bruit de salle, la distorsion d'affaiblissement, l'écho pour la personne qui parle, et pour celle qui écoute, la distorsion de quantification et la gigue de phase. D'autres Recommandations traitent de la qualité de données sur les circuits loués: à savoir, les Recommandations H.12, M.1020 et M.1025.

Etant donné qu'on utilise des connexions internationales pour transmettre des signaux autres que téléphoniques (par exemple, la transmission de données dans la bande des fréquences téléphoniques), il est devenu nécessaire d'élargir le champ d'application du plan de transmission afin d'y inclure des directives sur la limitation des dégradations supplémentaires. Les dégradations importantes qui affectent la transmission de données dans la bande des fréquences téléphoniques sont notamment: le bruit impulsif, la distorsion de temps de propagation de groupe, la gigue de phase, la distorsion non linéaire, le rapport tonalité/bruit, le décalage de fréquence, les transitoires de gain et les transitoires de phase. Les paragraphes suivants contiennent des informations qu'AT&T a obtenues sur ces dégradations. Toutes les valeurs concernant les paramètres indiqués illustrent les objectifs de qualité de bout en bout du réseau public à commutation d'AT&T avant son démantèlement. Les valeurs représentatives obtenues dans le réseau sont très supérieures aux objectifs minimaux. Ces valeurs minimales sont considérées convenir à une performance satisfaisante des modems jusqu'à un débit binaire de 4,8 kbit/s. On estime nécessaires des objectifs minimaux plus ambitieux pour des débits binaires plus élevés (9,6 kbit/s, par exemple). Les valeurs concernant les paramètres indiqués ne sont données que pour illustration et ne représentent pas une proposition de Recommandation.

B.2 Bruit impulsif

Le bruit impulsif est défini par les excursions sur une voie, du signal de bruit dépassant un seuil déterminé. Ce bruit est évalué sur les voies en comptant le nombre d'excursions au cours d'un intervalle de temps prédéterminé. Afin de minimiser les contributions imputables au bruit thermique, le seuil minimal est normalement fixé entre 12 et 18 dB au-dessus de la valeur efficace du bruit. Le niveau de bruit impulsif correspond au seuil où le taux de comptage moyen est égal à un par minute.

Les instruments de mesure utilisés pour compter les impulsions de bruit peuvent être des compteurs de type électromécanique ou électronique. Dans certains appareils, le taux de comptage maximal est limité à sept par seconde.

Le bruit impulsif introduit dans le taux d'erreur devient important lorsque les crêtes de bruit atteignent un niveau de 3 à 12 dB au-dessous de la valeur efficace du niveau de signal de données, cela en fonction du type de modulation utilisé par les modems de données, de la vitesse de transmission en bits par seconde et de l'ampleur d'autres dégradations de transmission sur la voie. Selon l'objectif de bruit impulsif fixé par AT&T, il ne faut pas dénombrer plus de 15 comptages en 15 minutes à un niveau supérieur au seuil qui se situe à 6 dB au-dessous du niveau des données reçues. Le contrôle se fait par application des règles techniques et des limites aux niveaux mesurés du bruit impulsif.

Etant donné que l'essentiel du bruit impulsif provient, sous forme de transitoires, du fonctionnement des relais et autres équipements de commutation, les règles techniques et les mesures correctives visent à protéger les signaux porteurs de faible niveau contre les rayonnements associés à ces transitoires.

B.3 Temps de propagation de groupe

Le temps de propagation de groupe est défini comme la valeur dérivée par rapport à la fréquence de la caractéristique de phase de la voie. Comme il est très difficile de mesurer cette valeur dérivée, on l'obtient par approximation au moyen d'une mesure des différences. Un grand nombre d'appareils de mesure du temps de propagation de groupe actuellement en service, emploient plusieurs largeurs de bande pour effectuer cette mesure des différences. La norme d'AT&T est 166-2/3 Hz. Dans les résultats des essais, ces différences se traduisent par une résolution variable des ondulations dans la caractéristique du temps de propagation de groupe. Avec des largeurs de bande plus étroites, la résolution obtenue est supérieure mais la précision moins importante.

Dans les voies de télécommunication, la fréquence du temps minimal de propagation de groupe se situe généralement au voisinage de 1800 Hz. Par conséquent, les mesures du temps de propagation de groupe sont généralement normalisées à zéro à 1800 Hz. On appelle distorsion de temps de propagation de groupe l'écart par rapport à zéro lorsqu'on utilise d'autres fréquences. Cette distorsion s'accompagne d'un brouillage intersymbole dans la transmission de données, qui produit des erreurs et une sensibilité accrue au bruit de fond.

Dans le réseau, le temps de propagation de groupe est limité essentiellement au niveau de la conception des filtres de banc de voies et des autres équipements. Les objectifs typiques de la distorsion du temps de propagation de groupe sont 800 µsec au maximum dans la bande comprise entre 1004 et 2404 Hz et 2600 µsec au maximum dans la bande comprise entre 604 et 2804 Hz.

B.4 Gigue de phase

La gigue de phase est définie par la modulation angulaire non désirée d'un signal émis. La constatation la plus courante est que la gigue de phase perturbe le passage à zéro d'un signal. Etant donné que le bruit produit également le même effet, on obtient des indications sur un appareil de mesure de la gigue de phase même lorsqu'il n'existe pas de modulation fortuite.

La gigue de phase dégrade la transmission des données en réduisant la marge laissée aux autres dégradations dans le récepteur de données. Elle dépend de la conception de l'équipement de transmission. Bien que des causes spécifiques de cette gigue de phase, telles que les fréquences porteuses primaires aient été localisées dans la réalité, il a fallu modifier la conception de tel ou tel équipement, compte tenu des techniques correctives préconisées. L'objectif de bout en bout de la gigue de phase est fixé à 10° crête à crête pour la bande de fréquences comprise entre 20 et 300 Hz et à 15° crête à crête pour la bande comprise entre 4 et 300 Hz.

B.5 Distorsion non linéaire

Les éléments non linéaires présents dans l'équipement introduisent une distorsion harmonique et une distorsion d'intermodulation qui sont désignées plus généralement par le terme de distorsion non linéaire. Les mesures de la distorsion non linéaire se font habituellement sur la base des mesures de la distorsion d'intermodulation.

La distorsion non linéaire peut, en règle générale, se définir par la formation, à partir du signal émis, de composantes qui s'ajoutent à ce signal d'une façon le plus souvent indésirable. La distorsion non linéaire qui nous intéresse ici est celle que l'on trouve dans une voie téléphonique. Il ne faut pas la confondre avec le bruit d'intermodulation dû aux non-linéarités de l'équipement de multiplexage et aux amplificateurs de ligne d'un système de multiplexage par répartition en fréquence. Bien que ces non-linéarités puissent contribuer à la distorsion non linéaire dans le cas des fréquences vocales, leur contribution est généralement négligeable.

La distorsion non linéaire est couramment mesurée et déterminée par l'effet qu'elle produit sur certains signaux. Par exemple, si le signal est une tonalité de fréquence A , la distorsion non linéaire apparaît comme harmoniques du signal d'entrée, c'est-à-dire en tant que tonalités à $2A$, $3A$, etc. Etant donné que la plus grande partie de l'énergie du produit de distorsion correspond généralement au deuxième ou au troisième harmonique, on quantifie souvent la distorsion en mesurant la puissance de chacun de ces harmoniques et on parle alors de distorsion du deuxième ou du troisième harmonique. En mesurant le degré de distorsion non linéaire par la somme de puissance de tous les harmoniques, on obtient la distorsion harmonique totale. Ces puissances de distorsion n'ont de signification que si la puissance du signal utile (la fondamentale) est connue, de sorte que ces mesures sont généralement rapportées à la puissance de la fondamentale et on parle alors de distorsion du deuxième ou du troisième harmonique ou encore de l'harmonique total.

Dans le passé, on a utilisé deux méthodes différentes pour mesurer la distorsion non linéaire sur les voies de la bande des fréquences vocales: la méthode à tonalité unique et la méthode à 4 tonalités. On notera toutefois que la première méthode n'est plus utilisée.

Selon la méthode à 4 tonalités, 4 tonalités de même niveau sont émises en deux séries de tonalités à une puissance du signal composite correspondant au niveau de données (-13 dBm0). La première série comprend des tonalités à 856 et 863 Hz (espacement de 7 Hz); la deuxième utilise les fréquences de 1374 et 1385 Hz (espacement de 11 Hz). L'espacement des fréquences dans chaque série de tonalités n'est pas important mais il doit être différent pour les deux séries. Supposons que ces 4 tonalités soient désignées par A_1 , A_2 , B_1 et B_2 . Les produits du deuxième ordre ($A + B$) correspondent à $A_1 + B_1$, $A_1 + B_2$, $A_2 + B_1$ et $A_2 + B_2$. Si l'espacement entre A_1 et A_2 est le même qu'entre B_1 et B_2 , on a alors $A_1 + B_2 = A_2 + B_1$, de plus, les tensions de ces deux composantes s'ajoutent et on obtient une lecture erronée.

Les produits du troisième ordre ($2B - A$) correspondent à $2B_1 - A_1$, $2B_1 - A_2$, $2B_2 - A_1$, $2B_2 - A_2$, $B_1 + B_2 - A_1$ et $B_1 + B_2 - A_2$. Le récepteur utilise des filtres dont la bande passante est de 50 Hz pour sélectionner les produits $A + B$, $B - A$ et $2B - A$. R_2 est le rapport entre la puissance des produits $A + B$ et $B - A$. R_3 est le rapport entre les fondamentales composites reçues et les produits $2B - A$.

La méthode des 4 tonalités, qu'utilise actuellement AT&T, présente l'avantage suivant: la fonction de densité d'amplitude du signal d'essai à 4 tonalités est assez semblable à celle d'un signal de données. Toutefois, puisque la bande passante des filtres du récepteur est relativement large (50 Hz), les mesures effectuées à l'aide de la méthode des 4 tonalités seront affectées davantage par le bruit de circuit.

Les produits d'intermodulation résultant de la distorsion non linéaire s'ajoutent au signal utile et le brouillent autant que le bruit. Les produits d'intermodulation sont cependant beaucoup plus préjudiciables que le bruit et, pour que le fonctionnement puisse être satisfaisant, le rapport fréquence fondamentale/produit du deuxième ou du troisième ordre doit se situer entre 25 et 38 dB, selon le type de transmission de données.

La distorsion non linéaire est limitée essentiellement au niveau de la conception de l'équipement. Toutefois, en raison, par exemple, du vieillissement des tubes à vide dans des équipements anciens et du mauvais alignement des bancs de voies MIC, il se peut que la distorsion soit supérieure aux limites fixées au moment de la conception. Dans le cas de la distorsion non linéaire utilisant la méthode de mesure à 4 tonalités, l'objectif global à long terme d'usager à usager est fixé à 27 dB au minimum pour R_2 et à 32 dB au minimum pour R_3 .

B.6 Rapport tonalité/bruit

Dans la transmission de la parole, le bruit perçu au cours des intervalles silencieux de la parole est le plus important et c'est précisément ce bruit qui est évalué par les mesures types du bruit de circuit des messages. Dans la transmission des données, le bruit perçu sur la voie au cours de la transmission active est important ainsi que le rapport signal/bruit correspondant. Dans les systèmes qui utilisent des compresseurs-extenseurs ou des appareils de quantification, le bruit augmente au cours de la transmission active. Afin de mesurer ce bruit, on émet une tonalité de -16 , -13 ou -10 dBm0 à partir de l'extrémité de la voie à l'essai et on effectue ensuite un filtrage en amont de l'appareil de mesure du bruit. Le filtre utilisé pour supprimer la tonalité est un filtre à bande d'arrêt étroite, centré sur la fréquence de la tonalité. On parle également de bruit avec tonalité pour désigner ce type de mesure. Il existe actuellement un équipement d'essai qui utilise la fréquence de 1004 Hz comme tonalité pour cette mesure.

Il va de soi que le bruit peut introduire des erreurs dans la transmission de données et il faut maintenir un objectif de rapport signal de tonalité/bruit de 24 dB pour assurer une qualité de fonctionnement satisfaisante. Le bruit est limité au niveau de la conception de l'équipement de transmission, de l'ingénierie des systèmes de transmission (par des facteurs tels que l'espacement entre répéteurs) et de la maintenance de ces systèmes.

B.7 Déplacement de fréquence

Lorsqu'une tonalité subit une modification de fréquence au cours de sa transmission sur une voie, on parle d'un déplacement de fréquence dans cette voie. Ce décalage peut être mesuré par utilisation des compteurs de fréquence aux deux extrémités d'une voie. Lorsque la fréquence d'entrée diffère de la fréquence de sortie, la différence correspond au déplacement de fréquence sur la voie.

Dans les équipements de télécommunication modernes, le déplacement de fréquence, s'il existe, est généralement de l'ordre de 1 Hz ou moins. Dans certains systèmes à courants porteurs plus anciens on peut rencontrer des déplacements plus marqués, par exemple, de 15 à 20 Hz.

Le déplacement de fréquence est important dans les systèmes qui utilisent les filtres de réception à bande étroite, tels que les multiplexeurs télégraphiques et les équipements de télémesure. Lorsque ces systèmes subissent un déplacement de fréquence, les signaux reçus se trouvent en dehors de la largeur de bande des filtres. Le déplacement de fréquence peut se produire dans les équipements utilisant les émissions à bande latérale unique avec onde porteuse supprimée. Chez AT&T, le déplacement de fréquence est limité à l'aide du réseau de synchronisation des fréquences. L'objectif global fixé pour le déplacement de fréquence est ± 5 Hz.

B.8 Transitoires de gain et de phase

Il arrive que l'on rencontre des variations très rapides de gain et de phase dans les voies de télécommunication. Parmi les causes les plus courantes qui sont à l'origine de ces phénomènes on peut citer: la commutation automatique sur des équipements ou des générateurs de porteuses de secours, la répartition entre les postes de travail pour la maintenance de routine, les évanouissements ou modifications du trajet dans les équipements à hyperfréquences et les transitoires de bruit couplés à des sources de fréquences porteuses. Le gain de la voie et le décalage de phase (ou de fréquence) peuvent reprendre leur valeur initiale en peu de temps ou rester indéfiniment à la même valeur.

Les variations de gain sont généralement détectées par des variations survenues dans le circuit de réglage automatique du gain et les variations de phase au moyen d'une boucle à verrouillage de phase. Afin d'assurer une protection contre les détecteurs des appareils d'essai qui fonctionneraient par erreur sur des crêtes de bruit non corrélé (bruit impulsif), on a conçu un intervalle de garde de 4 ms dans l'instrument qui indique la crête de gain ou de phase. Malheureusement, cet intervalle a l'inconvénient de masquer les véritables variations brusques de phase inférieures à 4 ms qui ne s'accompagnent pas d'une excursion d'amplitude de crête. Pour le moment, on estime que le risque est justifié lorsqu'on compare les fréquences relatives connues des variations brusques de phase à celles du bruit impulsif.

Pour mesurer les variations brusques de gain et de phase, on utilise des instruments qui contrôlent l'ampleur et la phase d'un signal sinusoïdal audible. Les variations brusques sont enregistrées et totalisées dans les compteurs qui ont des niveaux de seuil ajustables. Les compteurs des variations brusques de gain totalisent en général les événements qui dépassent des seuils de 2, 3, 4 et 6 dB, bien qu'ils ne fassent pas de distinction entre une augmentation et une diminution de niveau. De même, les compteurs des variations brusques de phase totalisent les variations enregistrées à des seuils compris entre 5 et 45 degrés, par paliers de 5 degrés. Ils réagissent à n'importe quelle variation brusque de phase égale ou supérieure au seuil choisi. Il peut être utile qu'un commutateur supprime la caractéristique de suppression du bruit impulsif à la demande de l'utilisateur lorsqu'il soupçonne une activité de variation brusque de phase. Compte tenu de la grande variété des signaux de variation brusque de phase, de l'effet du bruit sur les mesures et des tolérances admissibles pour les seuils et les circuits de mesure, on obtiendra généralement des comptages différents des variations brusques de phase, même sur des instruments de conception identique. D'où une certaine confusion chez ceux qui font des essais avec des compteurs conçus par des constructeurs différents. L'Institute of Electrical and Electronic Engineers étudie plus avant une autre spécification pour l'ensemble des compteurs de variations brusques de phase.

Les variations brusques de gain commencent à causer des erreurs dans la transmission de données à grande vitesse lorsqu'elles sont de l'ordre de 2 à 3 dB. Quant aux variations brusques de phase, elles commencent à causer des erreurs lorsqu'elles sont comprises entre 20 et 25 degrés. L'objectif visé pour les variations brusques de gain est de ne pas dépasser de bout en bout huit variations brusques de gain de plus de 3 dB en 15 minutes, et dans celui des variations brusques de phase, de ne pas dépasser huit variations brusques de phase en 15 minutes à un seuil de 20 degrés. Un évanouissement de transmission se définit par une diminution du niveau supérieure ou égale à 12 dB pendant une durée d'au moins 4 ms. Pour ce qui est des évanouissements de transmission, l'objectif est de ne pas dépasser deux évanouissements par heure.

Annexe C

Effet de la MICDA sur la qualité de transmission des données dans la bande des fréquences vocales

(AT&T)

(Cette annexe fait partie intégrante de la présente Recommandation)

Résumé

La présente annexe se fonde essentiellement sur un exposé prononcé par AT&T Bell Laboratories à l'occasion de la «Conférence mondiale des télécommunications de l'IEEE», qui s'est tenue du 2 au 5 décembre 1985. Elle va dans le sens des efforts visant à réviser la présente Recommandation de manière à inclure la planification des unités de distorsion de quantification en fonction de la qualité de transmission des données dans la bande des fréquences vocales. Les résultats font apparaître que tenter d'attribuer une valeur qd_u des données à un matériel fonctionnant en mode MICDA à 32 kbit/s (voir la Recommandation G.726) est une tâche ardue étant donné que la qualité de transmission dépend fortement de la vitesse et du type du modem.

Cette annexe rend compte d'un ensemble d'essais empiriques portant sur le taux d'erreur des modems à grande vitesse fonctionnant dans la bande des fréquences vocales, la transmission s'effectuant sur des voies contenant des systèmes MICDA à 32 kbit/s (voir la Recommandation G.726) en cascade asynchrone émaillés de dégradations analogiques simulées. A cette fin, on a testé une transmission type à 4,8 kbit/s et 2 modems à 9,6 kbit/s, à savoir un modem expérimental en duplex intégral conforme à la Recommandation V.32, et un autre modem de type courant à 9,6 kbit/s. Il ressort des essais que la transmission des données dans la bande des fréquences vocales à 4,8 kbit/s peut s'effectuer dans de bonnes conditions en présence de systèmes MICDA en cascade asynchrone, alors qu'à 9,6 kbit/s, la transmission est moins satisfaisante, et même avec certains modems, impossible dans les mêmes conditions.

C.1 Introduction

La modulation par impulsions et codage différentielle adaptative (MICDA) peut être utilisée à des vitesses de bits inférieures à 64 kbit/s par voie, avec dans de nombreux cas, une diminution non proportionnelle de la qualité de transmission analogique. C'est pourquoi un algorithme MICDA à 32 kbit/s sur des voies de qualité téléphonique aurait essentiellement pour effet de doubler la capacité des voies des installations connexes.

En contrepartie du gain économique potentiel dû à l'augmentation de capacité, il faut s'attendre à une dégradation consécutive de la qualité de transmission des voies individuelles. Nos essais ont fait apparaître que l'adoption de cette nouvelle technique pénaliserait sensiblement la qualité de transmission des données à grande vitesse dans la bande des fréquences vocales (c'est-à-dire à 4,8 kbit/s ou davantage).

Nous rendons compte ici des résultats obtenus à l'issue d'une série d'essais empiriques portant sur le taux d'erreur des modems pour données à grande vitesse dans la bande des fréquences vocales effectués sur des voies contenant des systèmes MICDA à 32 kbit/s (voir la Recommandation G.726) en concaténation [1] et émaillés de dégradations analogiques simulées. Les configurations de voies sont conçues pour être représentatives de topologies réelles possibles du réseau public commuté, avec des systèmes MICDA. Ces voies d'essai comportent des équipements en cascade asynchrone dont le nombre varie de zéro à sept, les dégradations analogiques introduites dans les systèmes étant obtenues en attribuant aux paramètres des valeurs fondées sur les distributions de dégradations extraites d'études antérieures, à savoir les «Loop Surveys» (études sur les systèmes en boucle) de la end inter-office connections study (EOCS) [2] de 1970 [3] et de 1980. Nous avons également étudié la qualité de transmission sur des connexions comportant des systèmes MIC en cascade asynchrone²⁾ à 64 kbit/s, mis en œuvre dans des bancs de voies de type D4, pour faire la comparaison avec les configurations MICDA ayant donné une qualité de transmission particulièrement médiocre, de manière à déterminer si celle-ci était due à l'algorithme MICDA ou simplement au codage MIC.

Les modems utilisés lors des essais étaient du type à grande vitesse. Nous avons essayé une transmission type à 4,8 kbit/s (type V.29) et deux modems à 9,6 kbit/s, à savoir un modem expérimental en duplex intégral conforme à la Recommandation V.32, et un autre modem de type courant. Tous ces appareils sont des modems à deux fils déjà commercialisés ou sur le point de l'être pour être mis en place dans le réseau public commuté.

Les résultats de nos essais font apparaître que la transmission des données dans la bande des fréquences vocales à 4,8 kbit/s donne des résultats satisfaisants en présence de systèmes multiples MICDA en cascade asynchrone, tandis que la transmission à 9,6 kbit/s est moins satisfaisante et même, avec certains modems, impossible dans les mêmes conditions.

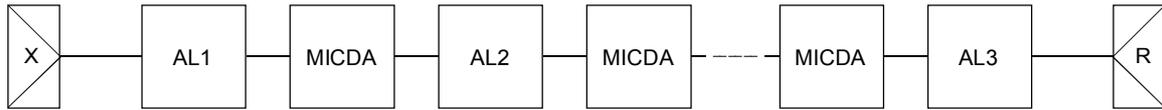
C.2 Configurations d'essais

On sait que la précision de l'algorithme MICDA dépend dans une grande mesure de la nature du signal qui doit être codé et transmis. Les signaux qui ne comportent que peu d'éléments stochastiques ou pas du tout, comme les sons purs, traversent très bien ces systèmes, avec ou sans distorsion. En revanche, les signaux de transmission de données à grande vitesse dans la bande des fréquences vocales, qui comportent par leur nature un élément stochastique important et ont une largeur de bande considérable, subissent nettement l'influence du codage MICDA. C'est pourquoi notre configuration d'essai vise à examiner ces types de modem à grande vitesse. Nous nous sommes en outre efforcés de limiter efficacement le nombre des essais nécessaires en utilisant un gabarit d'architecture universelle pour toutes nos études.

C.2.1 Semi-duplex 4,8 kbit/s

La Figure C.1 montre la configuration d'essais en mode semi-duplex à 4,8 kbit/s. On peut voir que les deux extrémités sont terminées par des modems. Sur le graphique, les dégradations analogiques simulées sont introduites à gauche au niveau de l'élément AL1; elles sont représentatives d'une boucle analogique et d'un circuit d'accès (AT) (*access trunk*). Vient ensuite le tronçon longue distance, qui consiste en un système MICDA, une liaison d'une distance équivalant à 500 miles composée d'un système analogique à courant porteur de type L (AL2), et de 1 à 6 systèmes MICDA. Une telle structure est représentative d'une portion de jonction entre réseaux constituée de liaisons multiples et représente le tronçon comme si toutes les dégradations analogiques apparaissaient au début de celui-ci. Si cette localisation des dégradations analogiques peut paraître excessivement prudente, elle est compensée par le fait que ces mêmes dégradations sont celles d'une liaison unique à courant porteur de type L et qu'elles reflètent assez bien la réalité, compte tenu de la difficulté d'utiliser un seul simulateur de dégradation pour la portion longue distance. Enfin, la sortie vers le récepteur se fait à travers un autre simulateur de dégradations analogiques (AL3) censé représenter un circuit et une boucle analogiques. Le fait d'émailler ainsi les systèmes MICDA de dégradations analogiques au niveau de la liaison reflète mieux la réalité des topologies de réseaux et de leurs applications que de se borner à accumuler toutes ces dégradations en un seul endroit.

²⁾ Le montage en cascade asynchrone est effectué lorsqu'un signal antérieur en codage MICDA est décodé pour restituer sa version analogique puis recodé à nouveau dans un système MICDA.



Modem	Accès	LH			Sortie	Modem
	Boucle + accès	MICDA	1 LMX	n (MICDA)	Boucle + accès	# tests
4,8 kbit/s	85	Nil	85	Nil	85	1
	Nil	MICDA	Nil	1-6 MICDA	Nil	6
	Nil	MIC	Nil	1-6 MIC	Nil	6 AN
	μ , 85	MICDA	μ , 85	1-6 MICDA	μ , 85	48
	μ , 85	MIC	μ , 85	1-6 MIC	μ , 85	48 AN

T1205460-93/d01

FIGURE C.1/G.113

Configuration d'essai pour un modem à 4,8 kbit/s

Il est bien sûr nécessaire de déterminer, pour cette configuration, le type et les valeurs réelles des dégradations analogiques à programmer dans les simulateurs AL1, AL2 et AL3. En utilisant comme outil de modélisation de la qualité de transmission du réseau les résultats de l'étude (EOCS), et en partant de l'hypothèse que les utilisateurs des services de données à grande vitesse se branchent sur le réseau à l'aide de connecteurs d'équipements de données, nous avons calculé la moyenne (M) de bout en bout et les conditions correspondant à 85% du principal sous-ensemble de dégradations pour les voies du réseau commuté. Il convient de noter que, bien que l'on désigne la voie au 85^e percentile comme étant celle où chaque dégradation est au niveau 85%, la situation est en fait un peu plus mauvaise car toutes les dégradations à 85% signalées simultanément dans une voie se produiraient en fait moins de 15% du temps. Néanmoins, nous avons attribué ces valeurs de bout en bout aux simulateurs de dégradations analogiques. Le Tableau C.1 reproduit les résultats de ces attributions, les types de dégradation et les valeurs de bout en bout. Les valeurs désignées sont attribuées à partir de la moyenne de bout en bout (M), tandis que les valeurs désignées «85» le sont à partir des valeurs de dégradation de bout en bout à 85%. On peut à présent compléter la Figure C.1 en décrivant les diverses valeurs des dégradations analogiques, ainsi que le type et le nombre des équipements numériques présents. La première configuration ne contient pas de système MICDA, mais elle comporte les dégradations attribuées à partir de la voie à 85%. Ensuite, pour référence supplémentaire, nous avons étudié six voies contenant de 2 à 7 systèmes MICDA seulement, sans dégradations analogiques. Six autres voies devaient être testées si nécessaire en utilisant uniquement des dispositifs MIC montés en cascade asynchrone, pour le cas où les essais antérieurs correspondants effectués à l'aide des dispositifs MICDA auraient donné de mauvais résultats. Enfin, on a réalisé les essais les plus importants en faisant intervenir à la fois les dégradations analogiques attribuées aux simulateurs à partir de la moyenne (μ) et la voie au 85^e percentile comportant de 2 à 7 systèmes MICDA (ou MIC selon les besoins).

C.2.2 Duplex intégral et semi-duplex à 9,6 kbit/s

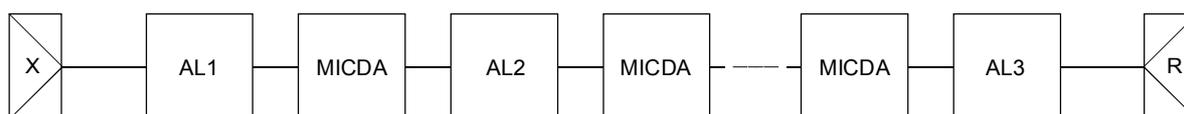
Le gabarit utilisé ici pour la configuration d'essai est reproduit sous la forme d'un graphique à la Figure C.2. Une mise en œuvre expérimentale de la Recommandation V.32 appliquée à un modem en duplex intégral à 9,6 kbit/s a été expérimentée à partir des mêmes valeurs de dégradations analogiques que celles utilisées pour le modem à 4,8 kbit/s. Quoique les portions de la voie soient représentées de la même façon dans le gabarit, nous n'avons testé qu'entre 1 et 3 systèmes MICDA dans la portion à longue distance. Des essais de simulation de fonctionnement en mode duplex intégral ont été effectués alors que la voie opposée acheminait des données, le rapport entre le signal et l'écho pour l'auditeur étant de 12 dB, et le temps de propagation de l'écho de 25 ms, en accord avec les essais dont il a été rendu compte antérieurement à la Commission d'études XVIII du CCITT [4]. Pour ces essais également, le Tableau C.1 indique les valeurs correspondantes pour les simulateurs de dégradations analogiques.

On voit aussi les résultats de trois essais effectués à l'aide d'un autre modem en mode semi-duplex à 9,6 kbit/s, uniquement avec des systèmes MICDA. Ce modem est spécifiquement conçu pour être utilisé sur le réseau public commuté, et donne une bonne idée des résultats que l'on peut attendre des techniques le plus couramment utilisées actuellement à 9,6 kbit/s.

TABLEAU C.1/G.113

Conditions d'essai dérivées de l'EOCS

	AL1	AL2	AL3	E-E
Dégradation	$\mu/85$	$\mu/85$	$\mu/85$	M/85
Affaiblissement (dB)	11,0/11,4	1,1/1,7	11,0/11,4	23,0/24,5
Bruit (Pond. C)	32,0/35,6	37,5/38,5	24,0/27,6	29,4/31,0
Pente (dB)	1,5/3,0	0,0/0,2	1,5/3,0	2,9/6,1
Répartition du temps de propagation (μ s)	226/388	632/755	226/388	1084/1535
2 ^e intermod. (dB)	66,0/50,2	58,4/53,8	66,0/50,2	52,7/46,3
3 ^e intermod. (dB)	74,0/53,0	56,9/50,3	74,0/53,0	51,7/44,3
Gigue de phase (p-p)	0,5/0,7	1,9/3,7	0,5/0,7	3,5/5,1
Niveau (dBm)				-27,0/28,5
Signal/bruit (dB)				31,6/28,5



Modem	Accès	LH			Sortie	Modem
	Boucle + accès	MICDA	1 LMX	n (MICDA)	Boucle + accès	# tests
V.32	85	Nil	85	Nil	85	1
9,6 kbit/s	Nil	MICDA	Nil	1-3 MICDA	Nil	3
V.32	Nil	MIC	Nil	1-3 MIC	Nil	3 AN
	$\mu, 85$	MICDA	$\mu, 85$	1-3 MICDA	$\mu, 85$	24
	$\mu, 85$	MIC	$\mu, 85$	1-3 MIC	$\mu, 85$	24 AN

T1205470-93/d02

FIGURE C.2/G.113

Configuration d'essai pour des modems à 9,6 kbit/s

C.2.3 Qualité de la transmission à 4,8 kbit/s avec des systèmes MICDA

Les résultats les plus remarquables des essais de transmission à 4,8 kbit/s sont représentés à la Figure C.3. Nous avons tracé 4 courbes: 2 d'entre elles représentent les taux d'erreur sur les blocs (BLER) à 1000 bits, et les deux autres les taux d'erreur sur les bits (BER), l'une pour la voie moyenne et l'autre pour la voie EOCS à 85%. En abscisse, on a le nombre de systèmes MICDA en cascade asynchrone sur la liaison. En raison de la configuration d'essai, on les a numérotés 1 + n. Le «1» représente le codage MICDA entre AL1 et AL2, tandis que n est le nombre de systèmes MICDA entre AL2 et AL3.

Il ressort clairement des tracés que les mesures du taux d'erreur se dégradent en proportion de l'augmentation du nombre de systèmes MICDA en cascade asynchrone, et que les résultats obtenus sur la voie à 85%, où les valeurs des dégradations analogiques sont plus mauvaises, sont inférieurs aux résultats de la voie moyenne. On suppose que la limite d'acceptation concernant la précision du modem correspond pour 85% des voies à un BER < 10⁻⁵ et à un BLER < 10⁻². Par conséquent, si nous nous intéressons à la voie à 85% de l'EOCS, nous constatons que les résultats de la transmission à 4,8 kbit/s se situent dans des limites acceptables si le nombre de systèmes MICDA est de 4 ou 5 pour les BLER et de 3 ou 4 pour les BER. Des résultats plus récents tendent à montrer que pour certains modems, le critère du BER est négligeable avec trois systèmes en cascade et que deux systèmes seulement seraient acceptables. Nous savons bien sûr que le critère du BER est plus strict que la limite BLER, parce que les erreurs sur les bits ont davantage tendance à se produire en paquets, phénomène auquel on peut remédier dans une large mesure en recourant à la transmission en mode bloc, à l'aide d'un système de détection et de correction d'erreurs. Nous avons toutefois testé l'un et l'autre et nous présentons les résultats obtenus dans les deux cas, car le choix de l'un ou de l'autre sera dicté par les applications voulues par les utilisateurs.

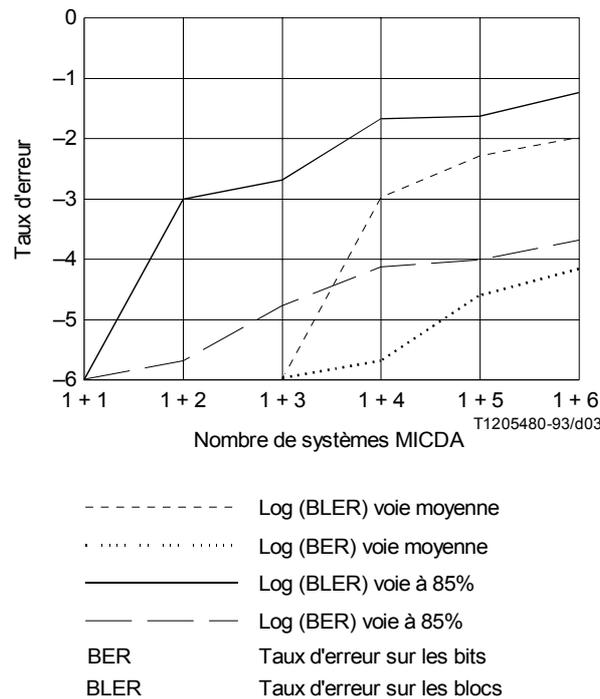


FIGURE C.3/G.113

Qualité de transmission à 4,8 kbit/s en présence de systèmes MICDA (voies moyenne et à 85%)

C.2.4 Qualité de transmission d'un modem de type V.32 en présence de systèmes MICDA

Les résultats obtenus à la suite du banc d'essai effectué au départ d'un équipement à 9,6 kbit/s conforme à la Recommandation V.32 sont représentés à la Figure C.4. On notera que nous avons à nouveau tracé 4 courbes. Comme précédemment, la qualité de transmission de la voie à 85% est inférieure à celle de la voie moyenne. Si nous nous intéressons à présent au BLER de la voie à 85%, nous constatons que la limite de qualité acceptable correspond à 2 à 3 systèmes MICDA en cascade asynchrone, alors que pour le BER, ce nombre est de 0 ou 1. C'est l'application visée par l'utilisateur qui détermine laquelle des deux mesures est la plus appropriée. Nous constatons ici qu'un élément stochastique plus important des signaux de données implique un taux d'erreur du modem plus élevé. Dans le cas présent, l'utilisation d'un dispositif à 9,6 kbit/s révèle une dégradation certaine de la qualité de transmission par rapport à la même topologie mais avec des dispositifs à 4,8 kbit/s.

Il est aussi intéressant de vérifier si un changement de position des segments présentant des valeurs de dégradation plus élevées a un effet sur la qualité de transmission du modem. La Figure C.5 représente 3 courbes de BLER pour des appareils conformes à la Recommandation V.32, où nous avons pris la portion attribuée à 85% d'abord à l'accès, puis dans la partie à longue distance, et enfin à la sortie de la voie utilisée pour l'essai, les autres portions correspondant aux valeurs moyennes attribuées des dégradations. On notera d'abord que ces courbes s'inscrivent, sur le plan de la qualité de transmission, entre la voie à 85% et la voie moyenne, et qu'ensuite, il semble que l'emplacement des valeurs de dégradation les plus sévères joue un léger rôle. Les dégradations les plus graves à proximité de l'émetteur semblent avoir un effet plus préjudiciable sur la qualité de transmission du modem BLER que si elles apparaissaient à proximité du récepteur. Cela signifie que les dégradations analogiques à l'accès sont probablement plus significatives lorsqu'elles influencent les taux d'erreur du modem que celles du réseau à longue distance ou de la sortie. On ne constate cependant pas d'effets très marqués, probablement parce que les valeurs de dégradations des segments attribués à 85% ne sont pas réellement beaucoup plus mauvaises que celles des segments moyens attribués.

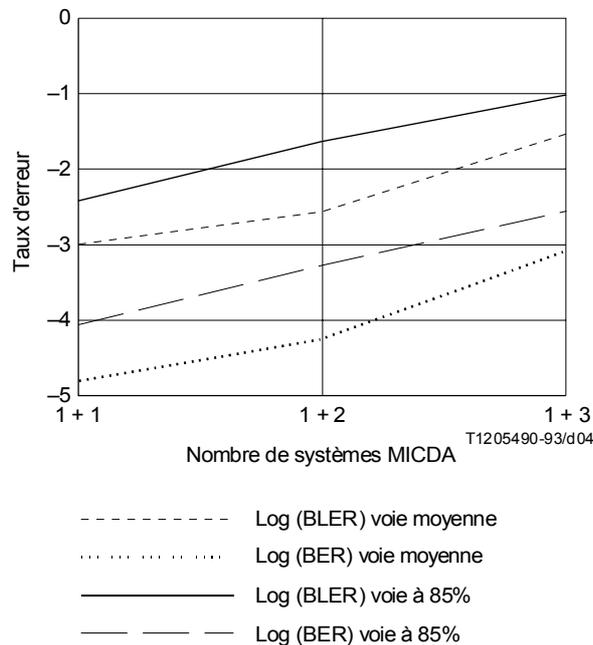


FIGURE C.4/G.113
Qualité de transmission en présence de systèmes MICDA
avec un modem conforme à la norme V.32
(voies moyennes et à 85%)

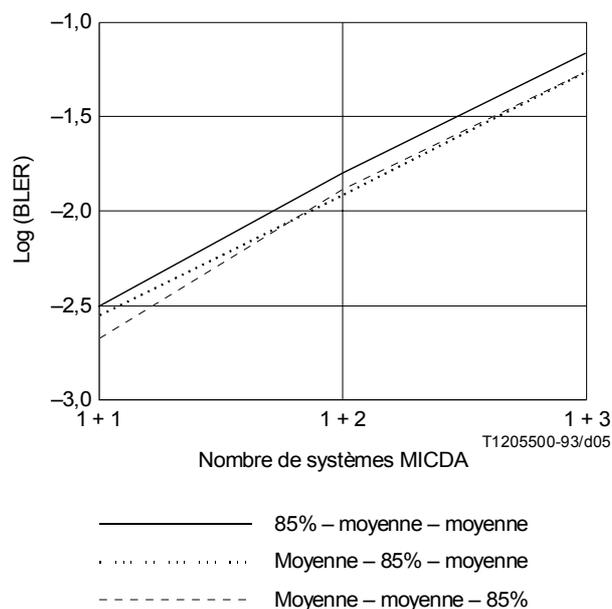


FIGURE C.5/G.113

**Qualité de transmission en présence de systèmes MICDA
avec un modem conforme à la norme V.32
(étude de position des dégradations)**

C.2.5 Qualité de transmission à 9,6 kbit/s avec des systèmes MICDA

Pour conclure cet essai de qualité de transmission, nous avons soumis un autre dispositif à 9,6 kbit/s à une suite de systèmes MICDA en cascade asynchrone, en utilisant une technique plus traditionnelle. Le modem utilisé à cette fin est un appareil à 2 fils que le fabricant recommande d'utiliser dans le réseau public commuté avec des débits pouvant aller jusqu'à 9,6 kbit/s. Nous avons effectué cet essai en l'absence totale de dégradations analogiques dans la voie d'essai. Durant ce processus empirique, on a constaté que la séquence d'initialisation du modem et l'algorithme MICDA se conjuguèrent pour empêcher le commencement de la communication entre l'émetteur et le récepteur. Il était donc nécessaire de procéder à l'essai en faisant en sorte que le conditionnement du modem se produise sur une voie ordinaire MIC, après quoi les signaux MICDA étaient interrompus pour pouvoir constater les résultats de transmission. Des problèmes similaires se produiraient probablement avec n'importe quel modem à grande vitesse ayant une séquence de conditionnement de départ comparable à celle de ce produit à 9,6 kbit/s.

La Figure C.6 montre les résultats de transmission obtenus à l'aide de ce modem. Sans aucune dégradation analogique, on peut présenter les systèmes MICDA simplement en ordre séquentiel. Le résultat du BLER fait apparaître que le critère de qualité de transmission ne peut être satisfait que si le nombre de systèmes MICDA est de 0 ou 1. En ce qui concerne le BER, il apparaît encore une fois, d'après notre critère habituel, que la MICDA est incompatible avec un bon fonctionnement du modem. Comme on peut s'attendre que de nombreux fabricants de modems annonceront, ou ont déjà annoncé des appareils à 2 fils et à grande vitesse pouvant être utilisés sur le réseau public commuté, il est probable que la présence de dispositifs MICDA sur ces voies causera des problèmes de transmission dans les appareils de type comparable à celui qui a été testé pour le conditionnement, la modulation et les détections d'erreurs.

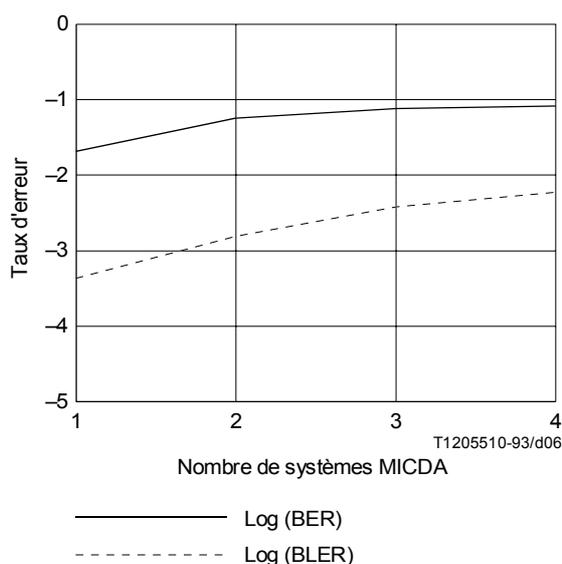


FIGURE C.6/G.113
**Qualité de transmission en présence de systèmes MICDA
(sans dégradations analogiques)**

C.3 Conclusions

Nous avons rendu compte, dans la présente contribution, de la configuration des appareils de laboratoire, et des résultats d'un ensemble d'essais empiriques effectués pour déterminer les taux d'erreur des modems de transmission de données à grande vitesse dans la bande des fréquences vocales en passant par des voies comportant des systèmes MICDA en cascade asynchrone, émaillés de dégradations analogiques simulées. Le Tableau C.2 ci-après donne l'essentiel des résultats obtenus à l'issue des essais, d'où il ressort que la transmission à 4,8 kbit/s peut s'effectuer plus facilement sur un nombre plus grand de systèmes MICDA en cascade asynchrone que dans le cas de modems à 9,6 kbit/s. En outre, les transmissions s'effectuant à 9,6 kbit/s peuvent être impossibles si l'on applique le critère du BER, et parfois possibles si le critère du BLER est applicable. Il est donc évident que le critère approprié dépend de l'application que veut faire l'utilisateur des communications de données.

TABLEAU C.2/G.113
Nombres de systèmes MICDA autorisés sur la voie EOCS à 85%

Modem	BER = 10^{-5}	BLER = 10^{-2}
4,8 kbit/s (V.29)	3/4 ^{a)}	4/5
V.32	0/1	2/3
9,6 kbit/s	0	0/1
a) Des résultats plus récents donnent une fourchette 2/4.		

Références

- [1] Draft-Proposed American National Standard *32 kbit/s ADPCM Algorithm and Line Format*, Committee T1, Subcommittee T1Y1, Document n° T1Y1, LB 85-01, 28 mars 1985.
- [2] CAREY (M. B), CHEN (H.-T.), DESCIOUX (A.), INGLE (J. F.) et PARK (K. I.): 1982/83 End Office Connection Study: Analogue voice and Voice-band Data Transmission Performance Characterization of the Public Switched Network, *AT&T Bell Lab. Tech. J.*, 63, 2059, 1984.
- [3] MANHIRE (L. M.): Physical and Transmission Characteristics of Customer Loop Plant, *BSTJ* 57, 1/70.
- [4] KALB (M.), MORTON (C. H.) et SHYNK (JU. J.): DATA CAL – A Voice-band Data Communication Connection Performance Model, *Proc. of the Second International Network Planning Symposium, University of Sussex*, Brighton, UK, 21-25 mars 1983.

Annexe D

Compatibilité des algorithmes de codage des signaux vocaux et des données dans la bande vocale

(Cette annexe fait partie intégrante de la présente Recommandation)

Comme indiqué dans les Annexes B et C, les codeurs de signaux vocaux numériques ont une influence sur les données dans la bande vocale. La liste ci-après fournit quelques informations approximatives sur la possibilité de prise en charge de signaux de données dans la bande vocale par divers algorithmes de codage.

- 1) L'algorithme LD-CELP à 16 kbit/s (voir la Recommandation G.728) n'accepte les données dans la bande vocale que jusqu'à 2400 bit/s.
- 2) Le mode MICDA à 32 kbit/s (voir la Recommandation G.726) accepte les données dans la bande vocale jusqu'à 4800 bit/s.
- 3) Le mode MICDA à 40 kbit/s (voir la Recommandation G.726) accepte les données dans la bande vocale jusqu'à 9600 bit/s, un débit de 14 400 bit/s étant accepté uniquement pour les connexions autres que celles en cascade.

Cette liste sera élargie dans le futur. Son but est seulement de donner des indications générales. L'Annexe C fournit plus de détails sur le point 2) et on trouvera des informations complémentaires concernant le point 3) dans le document de référence [1].

Référence

- [1] DIMOLITSAS (S.), CORCORAN (F. L.), ONUFRY (M.) et SUYDERHOUD (H. G.): Evaluation of ADPCM Coders for Digital Circuit Multiplication Equipment, *COMSAT Technical Review*, Volume 17, n° 2, p. 323-345, automne 1987.

Imprimé en Suisse

Genève, 1994