



UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

**UIT-T**

SECTEUR DE LA NORMALISATION  
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS  
DE L'UIT

**Supplément 3**

**(série P)**

**(03/93)**

**QUALITÉ DE LA TRANSMISSION TÉLÉPHONIQUE**

---

**MODÈLES DE PRÉVISION DE LA QUALITÉ  
DE TRANSMISSION À PARTIR DE MESURES  
OBJECTIVES**

**Supplément 3 aux  
Recommandations UIT-T de la série P**

(Antérieurement «Recommandations 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.

Le Supplément 3 révisé aux Recommandations UIT-T de la série P, élaboré par la Commission d'études XII (1988-1993) de l'UIT-T, a été approuvé 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<sup>er</sup> 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  | Modèles d'évaluation de l'indice de transmission..... 1   |
| 1.1  | Introduction ..... 1  |
| 1.2  | Modèles d'évaluation de l'indice de transmission ..... 2  |
| 1.3  | Modèles d'appréciation subjective ..... 13  |
| 2  | Prévision de la qualité de transmission à partir de mesures objectives ..... 16                                 |
| 2.1  | Types de modèles ..... 16   |
| 2.2  | Modèle et programmes: SUBMOD, CATPASS ET CATNAP ..... 16  |
| 2.3  | Situation à reproduire ..... 17   |
| 2.4  | Description générale du modèle ..... 17   |
| 2.5  | Calcul de la force des sons et des équivalents pour la sonie ..... 18   |
| 2.6  | Calcul de la note d'opinion d'effort à l'écoute ..... 18  |
| 2.7  | Calcul de la note d'opinion pour la conversation ..... 22   |
| 2.8  | Evaluation d'autres mesures subjectives de la qualité de transmission ..... 22                                  |
| 2.9  | Correspondance entre les valeurs calculées et les valeurs observées ..... 24                                    |
| 2.10   | Incorporation de dégradations diverses ..... 25   |
| 2.11   | Utilisation pratique du modèle ..... 26   |
| 3  | Calcul de la qualité de transmission à partir de mesures objectives par la méthode d'indice d'information .. 27 |
| 3.1  | Introduction; type de modèle ..... 27   |
| 3.2  | Application à la transmission numérique ..... 27  |
| 3.3  | Application à la transmission analogique ..... 29   |
| 3.4  | Possibilités d'extension ..... 36   |
| 4  | Modèle d'indice de qualité globale pour l'évaluation de la qualité d'un réseau (OPINE) ..... 36                 |
| 4.1  | Introduction ..... 36   |
| 4.2  | Présentation du modèle ..... 37   |
| 4.3  | Configuration de l'OPINE ..... 39   |
| 4.4  | Types et valeurs des symboles ..... 46  |
| Annexe A (voir 1.1) – Appréciations subjectives des dégradations de transmission ..... 56          |   |
| A.1  | Introduction ..... 56   |
| A.2  | Equivalent global pour la sonie (OLR) et le bruit de circuit ..... 57   |
| A.3  | Bruit de quantification dû aux dispositifs MIC ..... 57   |
| A.4  | Largeur de bande ..... 57   |
| A.5  | Echo pour la personne qui écoute ..... 57   |
| A.6  | Echo pour la personne qui parle ..... 57  |
| A.7  | Effet local ..... 57  |
| Annexe B (au paragraphe 2.9) – Qualité de transmission calculée des réseaux téléphoniques ..... 68 |   |
| B.1  | Introduction ..... 68   |
| B.2  | HRC 1 – Communication dans la zone du même central ..... 69   |
| B.3  | HRC 2 – Communication nationale limite ..... 69   |
| B.4  | HRC 3 – Communication à grande distance avec une jonction MIC ..... 69  |
| B.5  | HRC 4 – Asymétrie de l'affaiblissement de transmission ..... 69   |
| B.6  | HRC 5 – Effet du bruit de salle ..... 69  |
| B.7  | HRC 6 – Effet du bruit de circuit et de la limitation de bande ..... 69   |
| B.8  | HRC 7 – Calculs multiples avec choix aléatoire d'éléments ..... 70  |
| B.9  | HRC 8 – Exemple de l'emploi de CATNAP pour répondre à un critère de conception ..... 70                         |
| B.10   | HRC 9 – Effet de la variation de la longueur de la ligne ..... 70   |

|   | <i>Page</i> |
|---|-------------|
| Annexe C (au paragraphe 4.3.1.2) – Calcul du spectre de bruit.....  | 80          |
| Annexe D (au paragraphe 4.3.3) – Exemples de calcul de la MOS .....   | 81          |
| Annexe E (au paragraphe 4.3.2.2) – Etablissement de l'équation (4-16) .....   | 84          |
| Annexe F (au paragraphe 4.3.3) – Modèle d'évaluation psychologique.....   | 85          |
| F.1    Modèle psychologique pour l'évaluation .....   | 85          |
| F.2    Obtention de l'équation (4-35) à partir de l'équation (4-34) .....   | 86          |
| Annexe G – Méthode objective permettant d'évaluer la qualité de transmission de la parole ayant subi une distorsion non linéaire..... | 87          |
| G.1    Introduction .....   | 87          |
| G.2    Champ d'application .....  | 87          |
| G.3    Signal de mesure.....  | 87          |
| G.4    Prétraitement.....   | 88          |
| G.5    Paramètres objectifs.....  | 89          |
| G.6    Processus d'estimation .....   | 92          |
| Appendice I (au paragraphe 3.2.2) – Programmes d'informatique utilisés.....   | 97          |
| I.1    Programme d'informatique n° 1 .....  | 97          |
| I.2    Programme d'informatique n° 2.....   | 97          |
| Appendice II (aux paragraphes 3.2.2 et 3.3) .....   | 99          |
| Appendice III (au paragraphe 3.3.2) – Calcul des DATA de l'Appendice II à partir des données primaires.....                           | 101         |
| III.1    Définition des données primaires .....   | 101         |
| III.2    Relations .....  | 102         |
| III.3    Exemple .....  | 102         |
| Références .....  | 103         |

## **INTRODUCTION**

Des modèles de prévision de l'opinion subjective de communications téléphoniques, utilisant des données obtenues d'après des mesures objectives, sont actuellement à l'étude. Il n'a pas été possible jusqu'à présent de recommander un modèle unique applicable à une grande diversité de dégradations de transmission, mais les méthodes décrites dans les articles 1, 2, 3 et 4 ci-après ont été proposées par plusieurs Administrations.



## MODÈLES DE PRÉVISION DE LA QUALITÉ DE TRANSMISSION À PARTIR DE MESURES OBJECTIVES

(aux Recommandations de la série P)

**1 Modèles d'évaluation de l'indice de transmission** (Genève, 1980, modifié à Malaga-Torremolinos, 1984) (cité dans l'article 3 de la Recommandation P.11) (Contribution des Etats-Unis d'Amérique et du Canada)

### 1.1 Introduction

Le présent article décrit les modèles d'évaluation de l'indice de transmission qui peuvent être utilisés pour estimer la réaction subjective des usagers du téléphone en présence de dégradations de transmission, qu'il s'agisse du bruit de circuit, de l'équivalent global pour la sonie, de l'écho pour la personne qui parle ou pour celle qui écoute, de la distorsion d'affaiblissement (y compris dans la largeur de bande), de la distorsion de quantification, du bruit de salle ou de l'effet local.

Les modèles concernant le bruit de circuit, l'équivalent global pour la sonie (OLR) (*overall loudness rating*) et l'écho pour la personne qui parle sont fondés sur des essais de conversation qu'ont effectués les Laboratoires Bell entre 1965 et 1972 afin d'évaluer subjectivement la qualité de transmission en fonction du bruit du circuit, de l'équivalent global pour la sonie, de l'affaiblissement du trajet des courants d'écho pour la personne qui parle et du temps de propagation sur le trajet des courants d'écho pour la personne qui parle [1]. Ces essais ont porté sur des centaines de sujets et sur des milliers de communications. Certains essais ont porté sur des communications d'affaires ordinaires, d'autres ont eu lieu en laboratoire. Pour tous les essais, on a employé une échelle d'appréciation à 5 niveaux: excellent, bon, passable, médiocre et non satisfaisant.

Initialement, les caractéristiques essentielles des modèles ont été spécifiées en termes d'affaiblissement en sonie d'une communication complète, en dB (mesuré par l'*electro-acoustic rating system*, EARS) et en termes de bruit de circuit, en dBmp, à l'entrée d'un système récepteur de référence (efficacité électroacoustique mesurée par l'EARS) [2]. Par la suite, on a inclus les effets de l'écho pour la personne qui parle, en termes d'affaiblissement en sonie sur le trajet des courants d'écho, en dB (mesuré par l'EARS) et en termes de temps de propagation aller-retour sur ce trajet, en *millisecondes*. Des facteurs de correction déterminés expérimentalement ont permis de convertir les modèles en équivalent pour la sonie selon la Recommandation P.79.

Le modèle initial relatif à l'écho pour la personne qui écoute résultait d'une série d'essais subjectifs d'écoute effectués dans les Laboratoires Bell en 1977 et en 1978 [3]. Des résultats d'essai obtenus ultérieurement ont conduit à spécifier une autre forme pour le modèle. Pour les essais subjectifs, l'affaiblissement du trajet des courants d'écho pour la personne qui écoute était soit uniforme, soit corrigé en fréquence par filtrage sélectif. On a défini un affaiblissement pondéré du trajet d'écho dans les conditions d'essai avec correction en fréquence, de telle sorte que des conditions d'essai équivalentes au point de vue subjectif donnent lieu à un indice de transmission identique.

Le modèle de distorsion de quantification est fondé sur une série de cinq essais subjectifs, effectués afin d'évaluer la qualité de fonctionnement de divers algorithmes de codecs numériques [6], [7], [8].

Le modèle concernant les distorsions d'affaiblissement dans la largeur de bande est fondé sur des essais effectués en 1978 [9].

Le modèle relatif au bruit de salle est fondé sur des essais, non publiés, qui ont eu lieu en 1976. Les appréciations sur la qualité de transmission selon une échelle à 5 notes ont été fournies par 40 sujets pour 156 combinaisons de bruit de salle, de niveau de conversation, de bruit de circuit et d'affaiblissement du trajet d'effet local. Les échantillons de bruit de salle présentés proviennent de conversations enregistrées sur bande dans les services de réservation d'une compagnie aérienne. Un modèle a été établi d'après les résultats des essais fondés sur le bruit de circuit, qui ont fourni les mêmes indices de qualité que des niveaux donnés de bruit de salle.

Le modèle relatif à l'effet local est fondé sur des essais effectués en 1980 [10].

Tous les essais ont été faits avec des appareils téléphoniques Western Electric type 500 ou des appareils équivalents. Les procédures utilisées pour analyser les résultats des essais subjectifs et obtenir l'échelle d'évaluation de l'indice de transmission sont décrites dans le document cité en [1]. Bien que ces procédures soient un peu complexes pour des calculs manuels, elles sont faciles à exécuter par calculatrice et on a constaté qu'elles fournissent une représentation appropriée et utile pour des données d'essai très diverses.

Les modèles sont fondés sur le principe de l'échelle d'appréciation de l'indice de transmission. Une des principales raisons de l'utilisation de cette échelle réside dans le fait qu'il a été reconnu que divers facteurs peuvent influencer sur les résultats des essais subjectifs: par exemple, le groupe de sujets, le type d'essai et la gamme des conditions concernant un essai donné. On a constaté que ces facteurs peuvent faire varier à la fois les notes d'opinion moyennes pour une condition donnée et l'écart type. Il est donc difficile d'établir une relation unique entre une condition de transmission donnée et une opinion subjective sous la forme d'une note d'opinion moyenne ou d'un pourcentage d'appréciation «bon» ou «excellent». L'utilisation d'une échelle d'indices de transmission tend à atténuer cette difficulté, puisqu'on distingue deux parties dans la relation entre les caractéristiques de transmission et les appréciations subjectives. Dans la première partie, à savoir l'indice de transmission en fonction des caractéristiques de transmission, on se fonde sur deux points de repère, de sorte que le résultat est en général beaucoup moins dépendant des essais individuels. Dans la deuxième partie, c'est-à-dire la relation entre l'évaluation de la qualité de transmission et la note d'opinion subjective, il peut y avoir une variation en fonction des différents essais.

L'échelle d'évaluation de l'indice de transmission pour l'équivalent global pour la sonie et le bruit de circuit a été conçue à partir des deux points de repère indiqués dans le Tableau 1-1.

TABLEAU 1-1

| Equivalent global pour la sonie (dB)  | Bruit de circuit (dBmp) <sup>a)</sup> | Indice de transmission |
|---|---------------------------------------|------------------------|
| 16  | -61                                   | 80                     |
| 31  | -76                                   | 40                     |
| a) Les valeurs du bruit de circuit sont rapportées à un système récepteur dont l'équivalent pour la sonie à la réception (RLR) est de 0 dB. |                                       |                        |

Ces points de repère ont été choisis suffisamment espacés mais dans les limites des conditions probables d'un essai. Les valeurs de l'indice sont choisies de telle sorte que la plupart des communications donnent lieu à des indices positifs compris entre 40 et 100. Les indices de transmission applicables à d'autres combinaisons d'équivalents pour la sonie et de bruit de circuit sont déterminés en fonction des valeurs obtenues pour ces deux points de repère.

L'article 1 présente les modèles d'appréciation de l'indice de transmission sous forme de l'équivalent global pour la sonie en dB d'une communication complète, du bruit de circuit en dBmp rapporté à l'entrée d'un système récepteur ayant un équivalent pour la sonie à la réception (RLR) (*receive loudness rating*) de 0 dB, de l'équivalent pour la sonie en dB du trajet des courants d'écho pour la personne qui parle et du temps de propagation aller-retour en millisecondes sur le trajet des courants d'écho pour la personne qui parle. L'Annexe A illustre des résultats d'évaluation représentatifs.

## 1.2 Modèles d'évaluation de l'indice de transmission

### 1.2.1 Equivalent global pour la sonie (OLR) et le bruit de circuit

Le modèle d'évaluation de l'indice de transmission pour l'équivalent global pour la sonie et le bruit de circuit est:

$$R_{LN} = -26,76 - 2,257 \sqrt{(L'_e - 8,2)^2 + 1} - 2,0294 N'_F + 1,751 L'_e + 0,02037 L'_e N'_F \quad (1-1)$$

où

$L'_e$  est l'OLR d'une communication téléphonique complète (en dB).

NOTE – Dans l'équation (1-1), la valeur de  $L'_e$  peut être remplacée par  $L'_e + L_s$  afin d'effectuer une correction d'affaiblissement pour la sonie ( $L_s$ ) en dB. Cela compense la réduction du niveau de parole du locuteur lorsque le STMR (affaiblissement d'effet local par la méthode de masquage) est inférieur à 15 dB à l'extrémité locuteur de la chaîne de connexion. La valeur du paramètre de correction  $L_s$  est nulle lorsque STMR = 12 (valeur par défaut). Dans les autres cas, la correction a les valeurs  $L_s$  suivantes:

$$\begin{aligned} L_s &= -0,3 (STMR - 12) \quad \text{si } STMR < 15 \\ L_s &= -0,9 (STMR - 12) \quad \text{si } STMR \geq 15 \end{aligned}$$

$N'_F$  est le bruit total effectif (en dBmp) rapporté à l'entrée d'un système récepteur ayant un RLR de 0 dB. Le bruit total effectif s'obtient en additionnant la puissance du bruit de circuit  $N'_c$ , le bruit de circuit équivalent  $N'_{Re}$  en fonction du bruit de salle et le bruit de circuit équivalent  $N'_{Qe}$  en fonction du bruit de quantification.



$N'_c$  est le bruit de circuit (en dBmp) rapporté à l'entrée d'un système récepteur ayant un RLR de 0 dB.

$N'_{Re}$  est le bruit de circuit équivalent (en dBmp) au bruit de salle mesuré rapporté à l'entrée d'un RLR de 0 dB (voir le 1.2.2).

$N'_{Qe}$  est le bruit de circuit équivalent (en dBmp) au bruit de quantification mesuré rapporté à l'entrée d'un système récepteur ayant un RLR de 0 dB (voir le 1.2.3).

L'indice de transmission en fonction de l'OLR et du bruit de circuit est indiqué à la Figure 1-1 dans laquelle on a utilisé pour  $N'_{Re}$  une valeur de -64 dBmp et l'ajustement de  $R_{LN}$  recommandé dans la Note du 1.2.2, au lieu de la valeur de -58,63 dBmp utilisée dans le Tome V du *Livre bleu*.

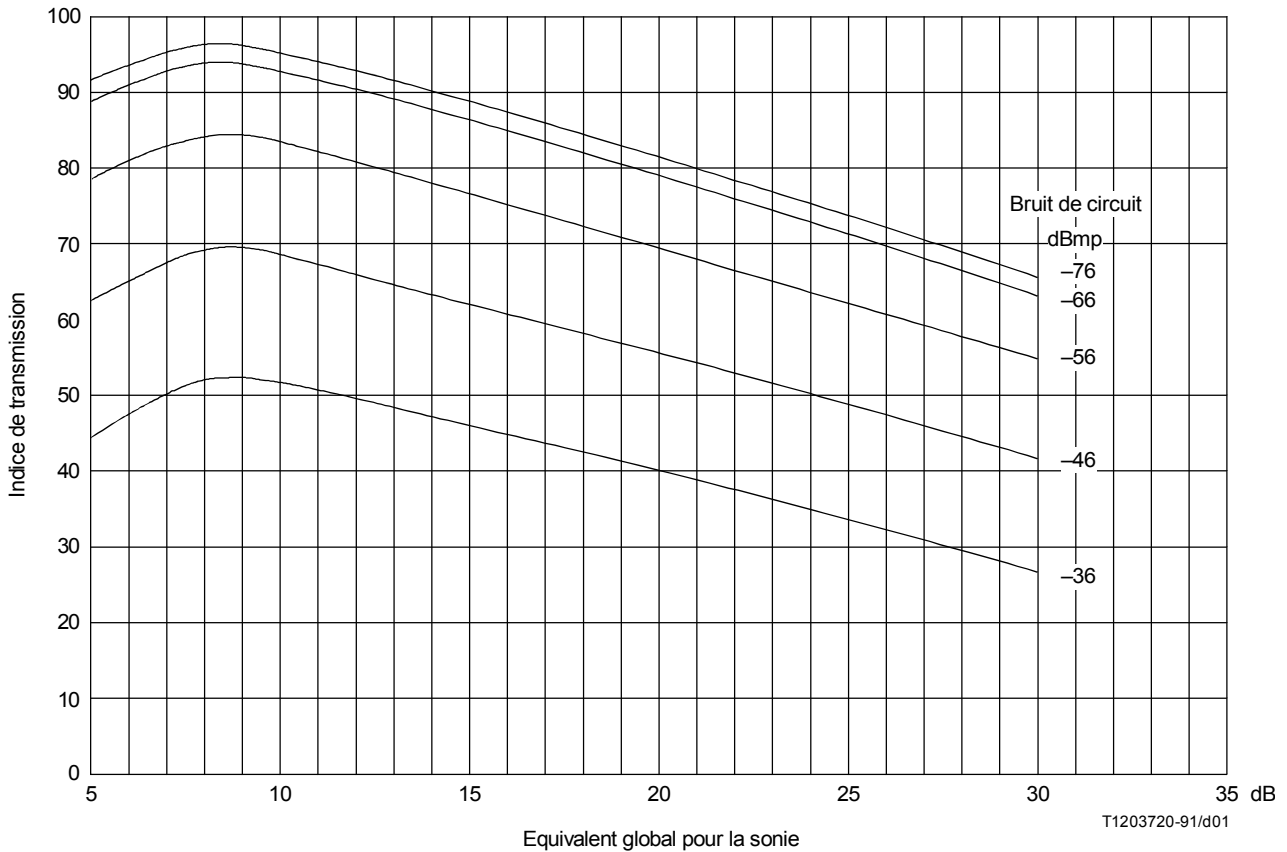


FIGURE 1-1  
Indice de transmission pour l'OLR et le bruit

### 1.2.2 Bruit de circuit équivalent en fonction du bruit de *salle*

Le modèle d'évaluation de l'indice de transmission applicable au bruit de circuit équivalent  $N'_{Re}$  (en dBmp) en fonction du bruit de salle est:

$$N'_{Re} = N_R - 121 + 0,0078 (N_R - 35)^2 + 10 \log_{10} \left[ 1 + 10^{\frac{6 - L'_s}{10}} \right] \quad (1-2)$$

où

$N_R$  est le bruit de salle en dBA à l'extrémité d'écoute;

$L'_s$  est l'affaiblissement d'effet local par la méthode de masquage (en dB) à l'extrémité d'écoute du trajet d'effet local de l'appareil téléphonique.

Le bruit de circuit équivalent  $N'_{Re}$  est tracé sur la Figure 1-2 en fonction du bruit de salle.

NOTE – Pour le modèle d'évaluation de l'indice de transmission pour l'équivalent pour la sonie et le bruit de circuit, on utilise normalement:

$$N'_{Re} = -58,63 \text{ dBmp} \quad (1-3)$$

Cette valeur résulte de l'analyse des résultats des essais de conversation à partir desquels a été établi le modèle initial d'évaluation de l'indice de transmission pour l'équivalent global pour la sonie et le bruit de circuit.

Des essais conduits en 1987 en Amérique du Nord indiquent cependant qu'une valeur inférieure de  $N'_{Re}$  est plus appropriée. La valeur qui a été adoptée dans cette région est:

$$N'_{Re} = -64 \text{ dBmp}$$

Lorsque cette valeur inférieure est utilisée, il y a lieu de remplacer la valeur de  $R_{LN}$  par  $R'_{LN}$  comme suit:

$$R'_{LN} = -0,0023 (R_{LN})^2 + 1,21 R_{LN} - 4,7$$

Cette correction fournit des résultats d'enquête réalistes lorsqu'elle est utilisée avec la base de données de Murray Hill. Bien que des valeurs de  $N'_{Re}$  inférieures à  $-64 \text{ dBmp}$  puissent être utiles pour représenter des résultats d'essais issus de laboratoires à faible bruit de salle, elles ne sont pas recommandées pour la prédiction de résultats d'essais subjectifs d'opinion.

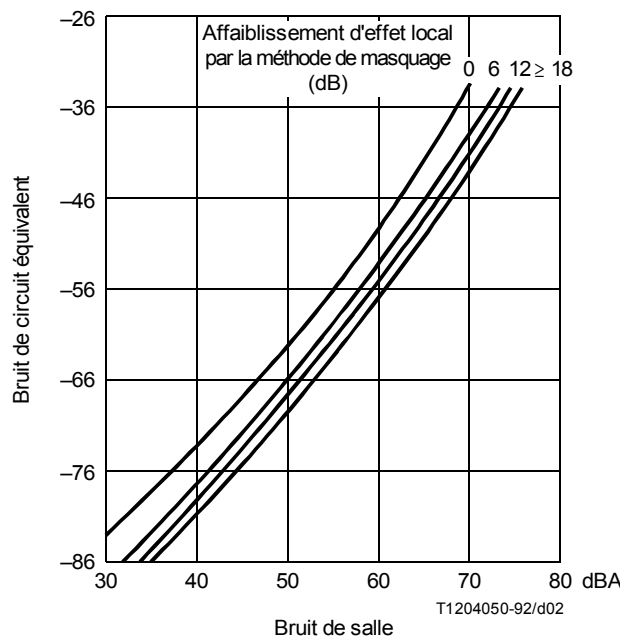


FIGURE 1-2  
Bruit de circuit équivalent au bruit de salle

### 1.2.3 Bruit de circuit équivalent au bruit de quantification

Le modèle d'évaluation de l'indice de transmission pour le bruit de circuit équivalent  $N'_{Qe}$  (en dBmp) au bruit de quantification est:

$$N'_{Qe} = V - 2 - SNR \quad (1-4)$$

où

$V$  est le niveau vocal actif (en dBm) rapporté à l'entrée d'un système récepteur ayant un RLR de 0 dB;

et

$SNR$  est le rapport signal/bruit de circuit (*signal-to-circuit noise ratio*) (en dB) qui fournit, estime-t-on, une qualité de reproduction vocale équivalent au rapport parole/bruit corrélé à la parole,  $Q$  (en dB), tel qu'il est déterminé par l'appareil de référence pour la production de bruit modulé (voir la Recommandation P.81).

La valeur de  $SNR$  peut être approximativement calculée ainsi:

$$SNR = 2,36 Q - 8 \quad (1-5)$$

d'où

$$N'_{Qe} = V - 2,36 Q + 6 \quad (1-6)$$

En se fondant sur l'étude du niveau de la parole [11] menée en 1975-1976, on obtient approximativement le niveau de la parole dans les communications nationales en Amérique du Nord en appliquant la formule:

$$V = -9 - L'_e$$

d'où

$$N'_{Qe} = -3 - L'_e - 2,36 Q \quad (1-7)$$

Les valeurs ci-dessous sont des estimations de  $Q$  pour des paires de codecs selon qu'on utilise la modulation par impulsions avec codage (MIC), la modulation quasi instantanée avec compresseur-extenseur (NIC) (*nearly-instantaneous compandored modulation*), la modulation par impulsions et codage différentiel adaptative (MICDA) ou la modulation adaptative delta (MAD). Elles s'appliquent aux algorithmes particuliers décrits dans les références [6] et [8].

$$\text{MIC: } Q = 0,78 L - 12,9 \quad (1-8)$$

$$\text{NIC: } Q = 0,74 L - 2,8 \quad (1-9)$$

$$\text{MAD: } Q = 0,42 L + 8,6 \quad (1-10)$$

$$\text{MICDA: } Q = 0,98 L - 5,3 \quad (1-11)$$

$$\text{MICDA-V: } Q = 1,04 L - 4,6 \quad (1-12)$$

où

$L$  est le débit binaire de ligne en kbit/s.

NOTE – L'algorithme MICDA avec prédicteur fixe est décrit dans la référence [12]. L'algorithme MICDA-V avec prédicteur adaptatif est décrit dans la référence [8].

S'agissant de communications avec des paires de codecs en tandem, la valeur totale de  $Q$  peut être calculée approximativement par la formule:

$$Q = -15 \log_{10} \left[ \sum_{i=1}^n 10^{-\frac{Q_i}{15}} \right] \quad (1-13)$$

#### 1.2.4 Largeur de bande et distorsion d'affaiblissement

On peut modifier le modèle d'évaluation de l'indice de transmission pour l'équivalent global pour la sonie et le bruit de circuit de façon à y inclure l'influence de la largeur de bande (et de la distorsion d'affaiblissement). L'indice de transmission  $R_{LNBW}$ , pour l'équivalent global pour la sonie, le bruit de circuit et la largeur de bande est donné par la formule:

$$R_{LNBW} = (R_{LN} - 22,8) k_{BW} + 22,8 \quad (1-14)$$

dans laquelle:

$$k_{BW} = k_1 k_2 k_3 k_4 \quad (1-15)$$

et

$$k_1 = 1 - 0,00148 (F_l - 310) \quad (1-16)$$

$$k_2 = 1 + 0,000429 (F_u - 3200) \quad (1-17)$$

$$k_3 = 1 + 0,0372 (S_l - 2) + 0,00215 (S_l - 2)^2 \quad (1-18)$$

$$k_4 = 1 + 0,0119 (S_u - 3) - 0,000532 (S_u - 3)^2 - 0,00336 (S_u - 3) (S_l - 2) \quad (1-19)$$

où

$F_l, F_u$  sont les limites inférieure et supérieure de la bande (en Hz) auxquelles la réponse acoustique/acoustique est inférieure de 10 dB à la réponse à 1000 Hz; (pour  $F_u > 3200$  Hz, une valeur de 3200 Hz doit être utilisée).

$S_l, S_u$  sont les pentes de réponse inférieure et supérieure dans la bande (en dB/octave) pour des fréquences respectivement inférieures et supérieures à 1000 Hz qui donnent lieu au même affaiblissement en sonie que les courbes de réponse effectives.

Les Figures 1-3 et 1-4 montrent l'influence des limites  $F_l$  et  $F_u$  de la bande et des pentes  $S_l$  et  $S_u$  dans la bande, sur le facteur de largeur de bande  $k_{BW}$ . La Figure 1-4 utilise l'expression pour  $k_3 k_4$  indiquée dans la Note 2 ci-dessous.

#### NOTES

1 Les fonctions relatives au facteur de largeur de bande  $k_{BW}$  ont été choisies de telle sorte que  $k_{BW} = 1$  quand  $F_l = 310$  Hz,  $F_u = 3200$  Hz,  $S_l = 2$  dB/octave et  $S_u = 3$  dB/octave. Ces réponses sont représentatives de celles qui sont utilisées dans les essais visant à formuler le modèle d'évaluation de l'indice de transmission pour l'équivalent global pour la sonie et le bruit de circuit.

2 Conformément aux résultats d'essais conduits en 1987, et avec peu de changement dans les résultats prédits, le produit  $k_3 k_4$ , peut être remplacé par:

$$k_3 k_4 = 0,93 + 0,0627 (S_l + 0,441 S_u) - 0,00012 (S_l + 0,441 S_u + 7,17)^3$$

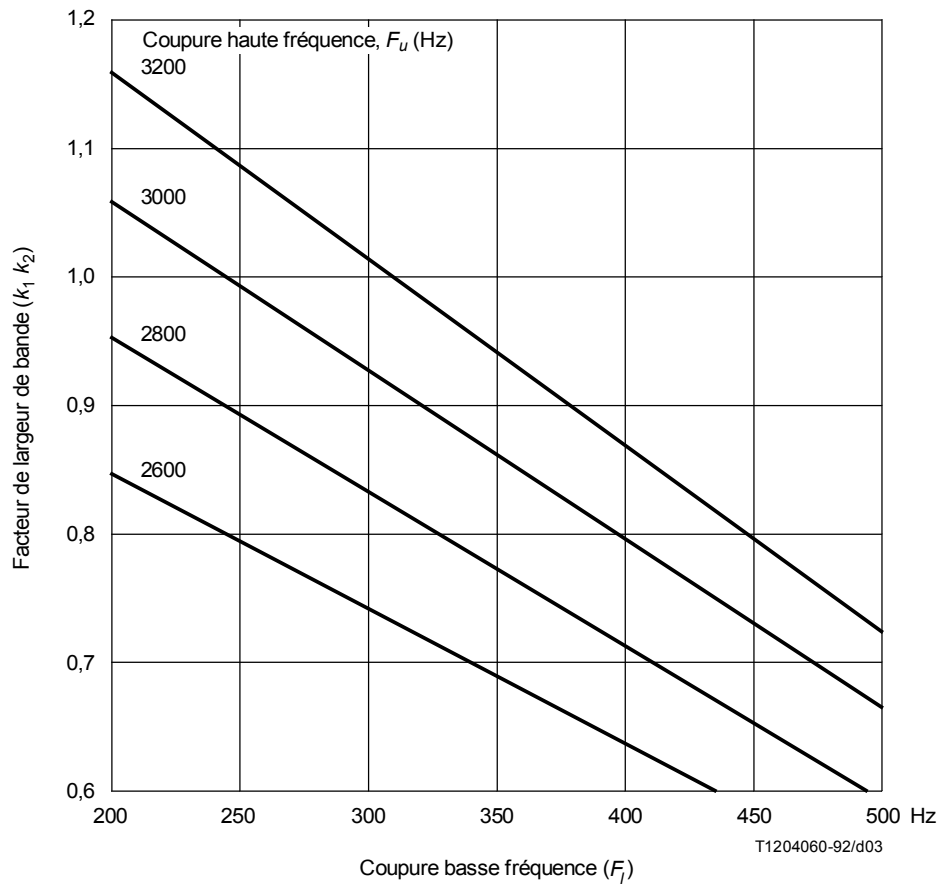


FIGURE 1-3  
Facteur de largeur de bande modèle

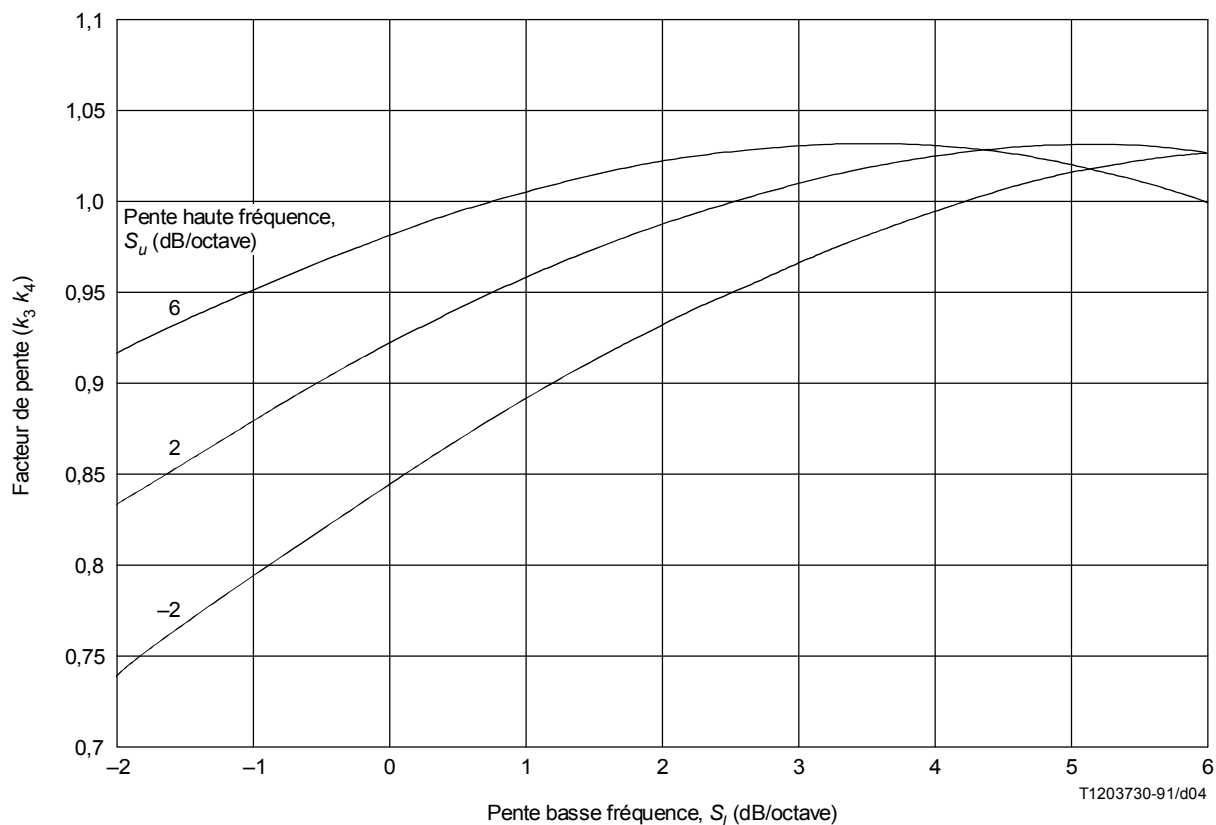


FIGURE 1-4  
Facteur du modèle de distortion d'affaiblissement

### 1.2.5 Echo pour la personne qui écoute

Le modèle d'évaluation de l'indice de transmission de l'écho pour la personne qui écoute est le suivant:

$$R_{LE} = 9,3 (WEPL + 7) (D_L - 0,4)^{-0,229} \quad (1-20)$$

où

*WEPL* est l'affaiblissement pondéré du trajet des courants d'écho pour la personne qui écoute (*weighted listener echo path loss*) (en dB)

$$WEPL = -20 \log_{10} \frac{1}{3200} \int_{200}^{3400} 10^{-\frac{EPL(f)}{20}} df \quad (1-21)$$

*EPL(f)* est l'affaiblissement du trajet des courants d'écho (*echo path loss*) (en dB) en fonction de la fréquence, en Hz,

*D<sub>L</sub>* est le temps de propagation aller-retour sur le trajet des courants d'écho pour la personne qui écoute, en millisecondes.

L'indice de transmission  $R_{LE}$  en fonction de l'affaiblissement pondéré du trajet des courants d'écho et du temps de propagation sur le trajet des courants d'écho pour la personne qui écoute est indiqué à la Figure 1-5.

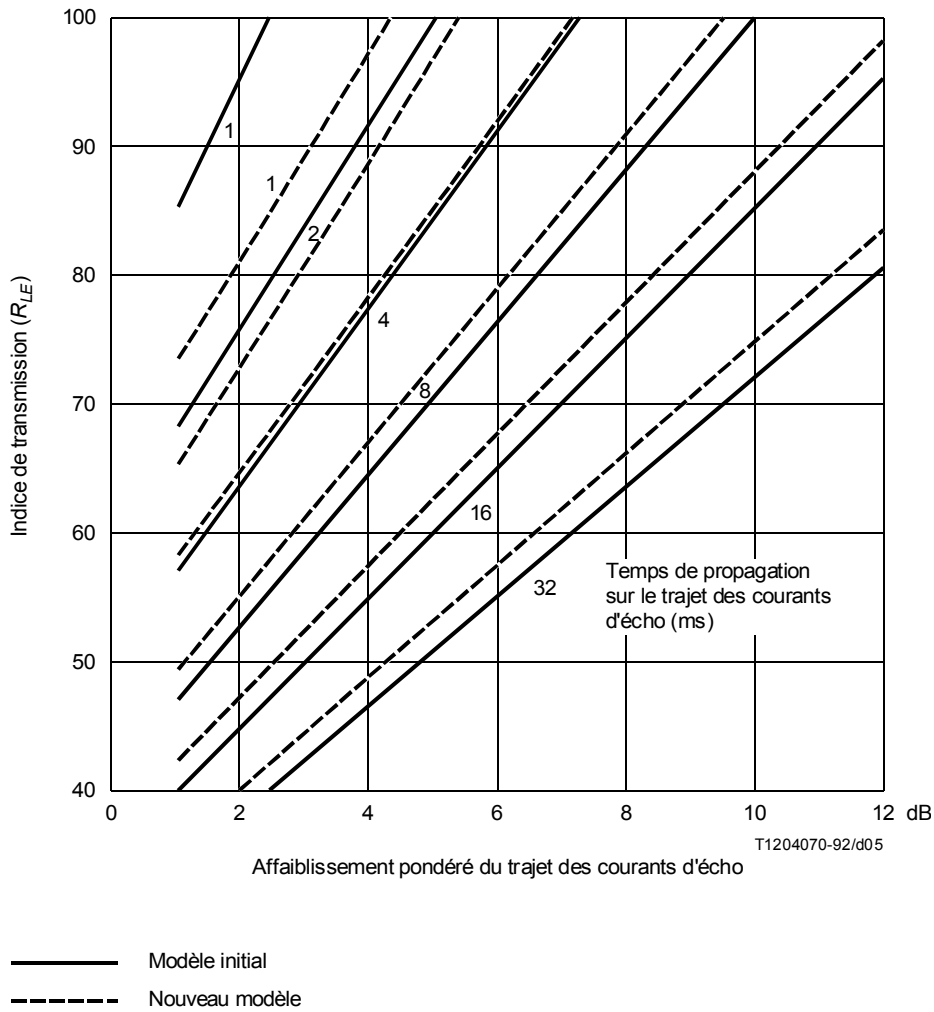


FIGURE 1-5  
 Evaluation de l'indice de transmission, écho pour la personne qui écoute

Le modèle d'évaluation de l'indice de transmission  $R_{LE}$  pour l'écho pour la personne qui écoute peut être combiné avec l'indice de transmission pour l'équivalent global pour la sonie et le bruit de circuit afin d'obtenir l'indice de transmission global, comme suit:

$$R_{LNLE} = \frac{R_{LN} + R_{LE}}{2} - \sqrt{\left[\frac{R_{LN} - R_{LE}}{2}\right]^2 + 13^2} \quad (1-22)$$

La Figure 1-6 montre les courbes obtenues au moyen de la relation susmentionnée pour l'indice de transmission en fonction de l'affaiblissement pondéré du trajet des courants d'écho pour la personne qui écoute et du temps de propagation sur le trajet des courants d'écho pour la personne qui écoute, en présence d'un équivalent global pour la sonie de 16 dB et d'un bruit de circuit de  $-56$  dBmp rapporté à un RLR à la réception de 0 dB.

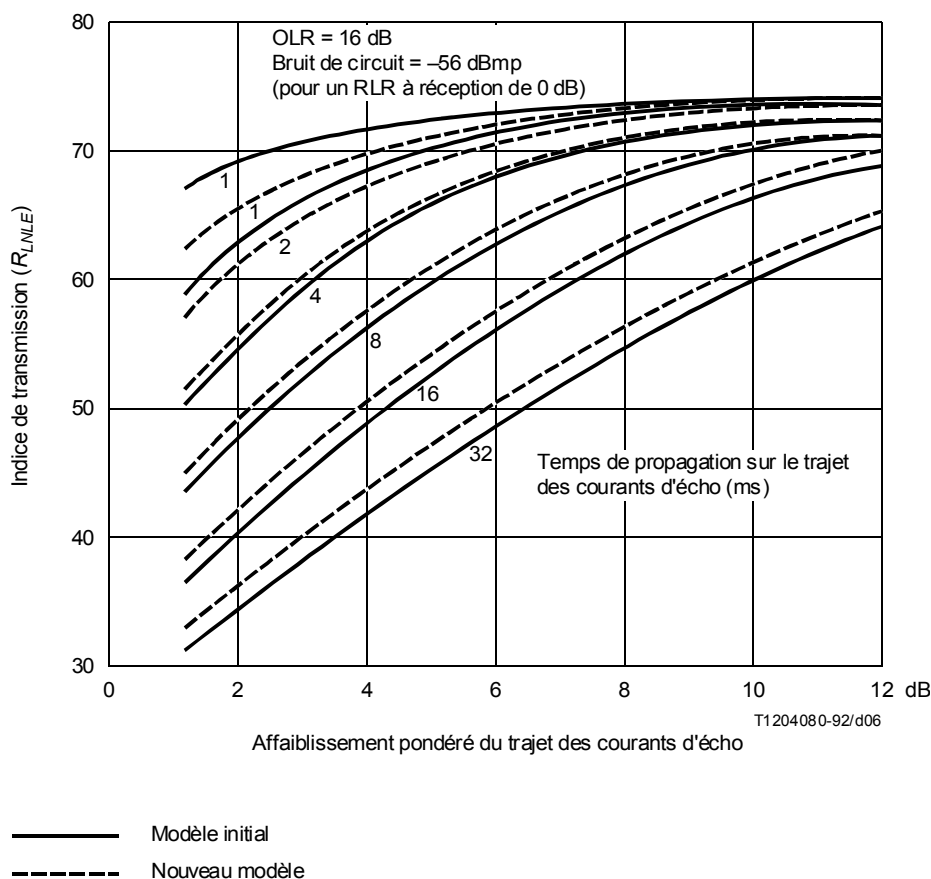


FIGURE 1-6

**Evaluation de l'indice de transmission pour l'OLR, le bruit de circuit et l'écho pour la personne qui écoute**

NOTE – Les considérations qui précèdent sont fondées sur l'utilisation de la série spécifique de résultats de mesure et du modèle d'écho pour la personne qui écoute [3]. Par la suite, de nouveaux résultats de mesure ont été rapportés dans [4] et [5] qui décrivent également des études portant sur les deux séries de résultats, pour voir s'il serait possible de recommander un modèle unique. D'une manière générale, on a relevé une bonne concordance entre les deux séries de résultats. Cependant, les résultats plus récents faisaient apparaître des notes d'opinion plus faibles pour les temps de propagation inférieurs à 3 millisecondes environ. On a appliqué une méthode prudente, consistant à modifier le modèle initial pour avoir des indices plus petits aux faibles temps de propagation tout en conservant les prévisions plus sensibles pour les valeurs élevées du temps de propagation. Pour obtenir ce résultat, l'équation (1-20a) peut être valablement substituée à l'équation (1-20):

$$R_{LE} = 10,5 (WEPL + 7) (D_L + 1)^{-0,25} \quad (1-20a)$$

Dans la référence [5], il est proposé de remplacer l'affaiblissement pondéré du trajet des courants d'écho (WEPL) du modèle initial par un affaiblissement pondéré normalisé du trajet des courants d'écho (SWEPL). La proposition définit:

$$WEPL = SM + SF$$

où

$SM$  est la marge contre l'amorçage d'oscillations;

$SF$  est la facteur de forme,

puis

$$SWEPL = SM + SF \frac{SM}{1 + SM}$$



On a donc, comme pour *WEPL*:

$$SWEPL = SM \text{ si } SF = 0$$

et

$$SWEPL \approx WEPL \text{ pour } SM \gg 1$$

L'influence du facteur de forme diminue à mesure que *SM* tend vers zéro. L'effet de forme est donc réduit de moitié pour *SM* = 1 et il tend vers zéro en même temps que *SM*. On évite ainsi d'avoir un *SWEPL* positif quand la marge contre l'amorçage a pris des valeurs négatives. L'emploi de *SWEPL* au lieu de *WEPL* ne changera pas grand-chose dans la plupart des situations réelles où *SM* a des valeurs typiques; néanmoins, le principe est intéressant car il oblige à tenir compte expressément de la marge contre l'amorçage et il est facile à mettre en œuvre en remplaçant *WEPL* par *SWEPL* dans l'équation (1-20a).

### 1.2.6 Echo pour la personne qui parle

Le modèle d'évaluation de l'indice de transmission pour l'écho pour la personne qui parle est donné par la formule:

$$R_E = 92,73 - 53,45 \log_{10} \left[ \frac{1 + D}{\sqrt{1 + \left(\frac{D}{480}\right)^2}} \right] + 2,277 E \quad (1-23)$$

où

*E* est l'OLR (en dB) du trajet des courants d'écho pour la personne qui parle, et

*D* est le temps de propagation aller et retour (en ms) sur le trajet des courants d'écho pour la personne qui parle.

L'indice de transmission en fonction de l'affaiblissement du trajet des courants d'écho pour la personne qui parle et du temps de propagation sur ce trajet est indiqué à la Figure 1-7; il a été obtenu en excluant l'influence du bruit de circuit et de l'OLR. La conversion des résultats des essais d'écho pour la personne qui parle, qui comprennent des valeurs choisies de l'OLR et du bruit de circuit, en échelle d'indice de transmission, a été faite au moyen du modèle *R<sub>LN</sub>*.

Le modèle d'évaluation de l'indice de transmission pour les effets combinés de l'OLR, du bruit de circuit, de l'affaiblissement du trajet des courants d'écho et du temps de propagation sur ce trajet est le suivant:

$$R_{LNE} = \frac{R_{LN} + R_E}{2} - \sqrt{\left(\frac{R_{LN} - R_E}{2}\right)^2 + 100} \quad (1-24)$$

La Figure 1-8 montre les courbes tracées au moyen de la relation précitée pour l'indice de transmission en fonction de l'affaiblissement du trajet des courants d'écho pour la personne qui parle et du temps de propagation sur ce trajet, en présence d'un OLR de 16 dB et d'un bruit de circuit de -56 dBmp.

### 1.2.7 Effet local

Le modèle d'évaluation de l'indice de transmission pour l'OLR, le bruit effectif total et l'écho pour la personne qui parle, peut être modifié pour prendre en compte l'influence de l'effet local. L'indice de transmission, *R<sub>LN-ST</sub>*, pour l'OLR, le bruit effectif total et l'effet local, a pour expression:

$$R_{LN-ST} = K_{ST} R_{LN} \quad (1-25)$$

pour l'écho pour la personne qui parle et pour l'effet local, on a:

$$R_E - ST = R_E + [2,6 (12 - SL) - 1,5 (4,5 - SR)^2 + 3,38] [D_0^2 / (D_0^2 + D^2)] \quad (1-26)$$

où *D*<sub>0</sub> = 30 et où *D* est défini par l'équation (1-23).

Le facteur d'effet local,  $K_{ST}$ , se calcule d'après la formule:

$$K_{ST} = 1,00 + C [0,021 - 0,002 (SL - 15)^2 + 0,001 (SR - 2)^2 (SL - 15)] \quad (1-27)$$

où  $C$  est un coefficient qui détermine la grandeur prévue de l'effet local. Une valeur  $C = 1$  correspond aux données de l'essai initial. Mais une valeur plus faible de  $C$  (par exemple  $C = 0,25$ ) semble mieux représenter certains résultats d'essais issus d'autres pays. Une valeur provisoire  $C = 0,25$  est donc suggérée pour usage.

$SL$  est l'affaiblissement d'effet local par la méthode de masquage (dB),  $SR$  la réponse en effet local (dB/octave) au-dessous de 1 kHz. (Au-dessus de 1 kHz, cette réponse est multipliée par 1,5<sup>1</sup>).

La Figure 1-9 donne des courbes que l'on a obtenues en déterminant  $R_{LN-ST}$  et  $R_{E-ST}$ , et en portant ces valeurs dans l'équation (1-24), respectivement pour  $R_{LN}$  et pour  $R_E$ . Cette figure utilise une valeur de  $C = 1$  pour  $K_{ST}$  dans l'équation 1-27. Une valeur plus faible de  $C$  produira des valeurs plus élevées de l'indice de transmission aux valeurs plus faibles de l'affaiblissement d'effet local par la méthode de masquage.

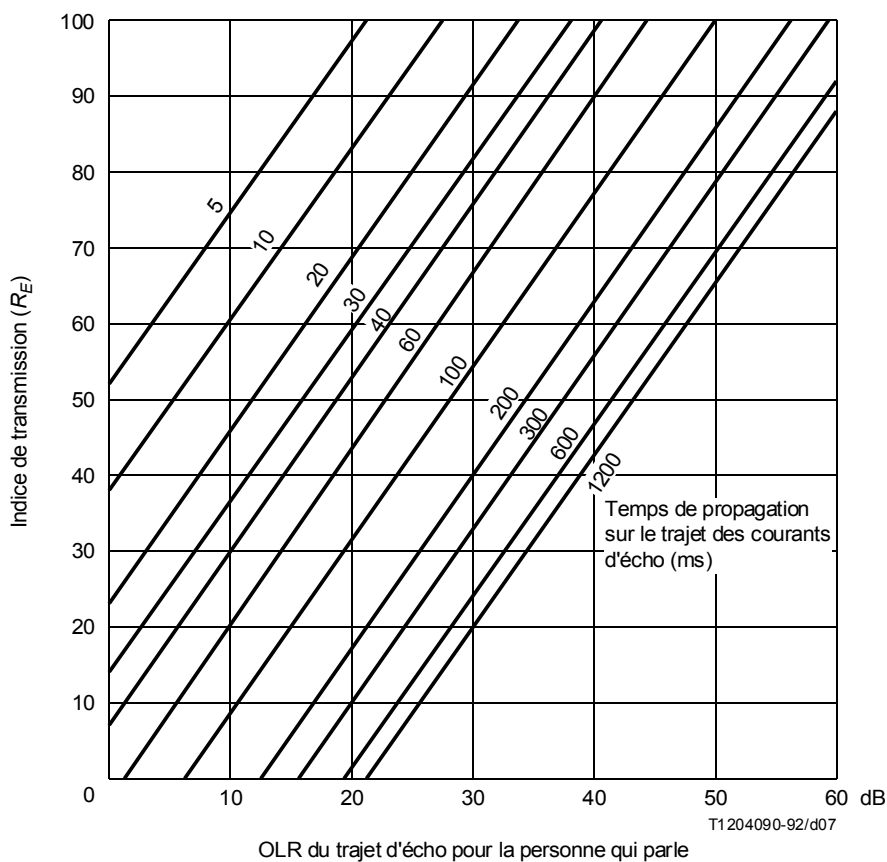


FIGURE 1-7

**Indice de transmission pour l'écho pour la personne qui parle**

1) Réponse en effet local:

| Au-dessous de 1 kHz | Au-dessus 1 kHz |
|---------------------|-----------------|
| 0                   | 0               |
| +3,0                | +4,5            |
| +6,0                | +9,0            |

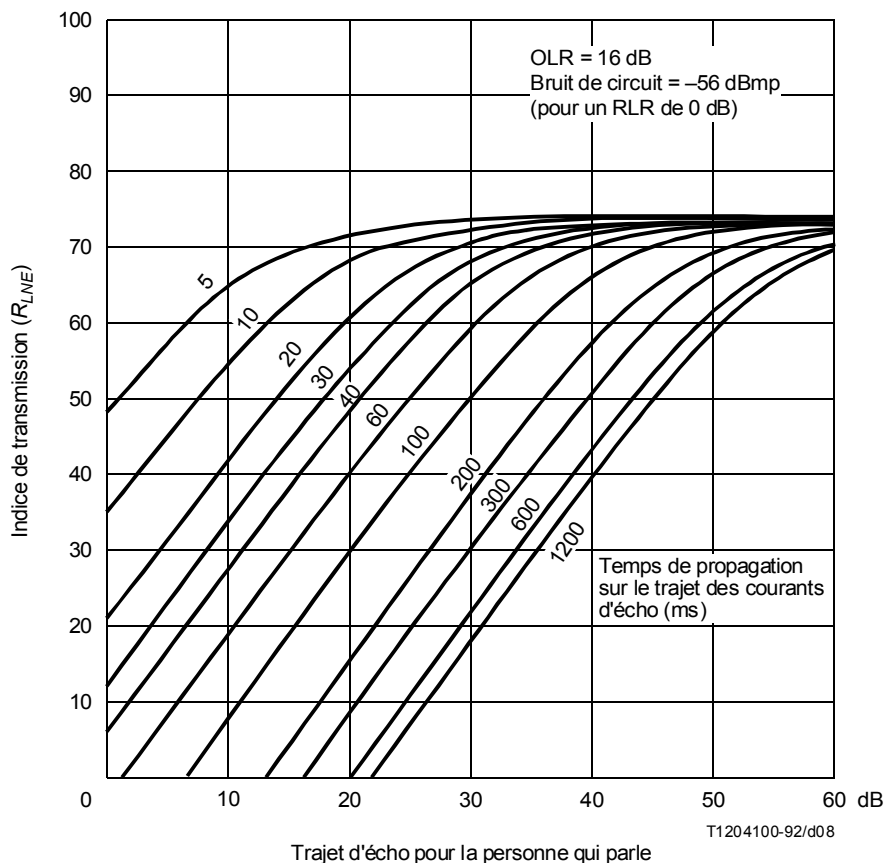


FIGURE 1-8

Indice de transmission pour l'OLR, le bruit de circuit et l'écho pour la personne qui parle

### 1.3 Modèles d'appréciation subjective

On a constaté que l'appréciation subjective sous la forme d'un pourcentage de notes d'opinion dans les cinq catégories [E (*excellent*), G (*good*), F (*fair*), P (*poor*), U (*unsatisfactory*)] pour une condition donnant lieu à un indice de transmission donné dépend de divers facteurs, comme le groupe des sujets, la gamme des conditions d'essai, l'année au cours de laquelle l'essai a eu lieu et l'utilisation pour les essais de conversations en laboratoire ou de conversations téléphoniques normales. La proportion des appréciations bon + excellent (G + E) ou médiocre plus non satisfaisant (P + U) peut être calculée à partir des formules suivantes:

$$G + E = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^A e^{-\frac{t^2}{2}} dt \tag{1-28}$$

$$P + U = \frac{1}{2\pi} \int_B^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \tag{1-29}$$

A et B sont indiqués ci-dessous pour les principales bases de résultats.

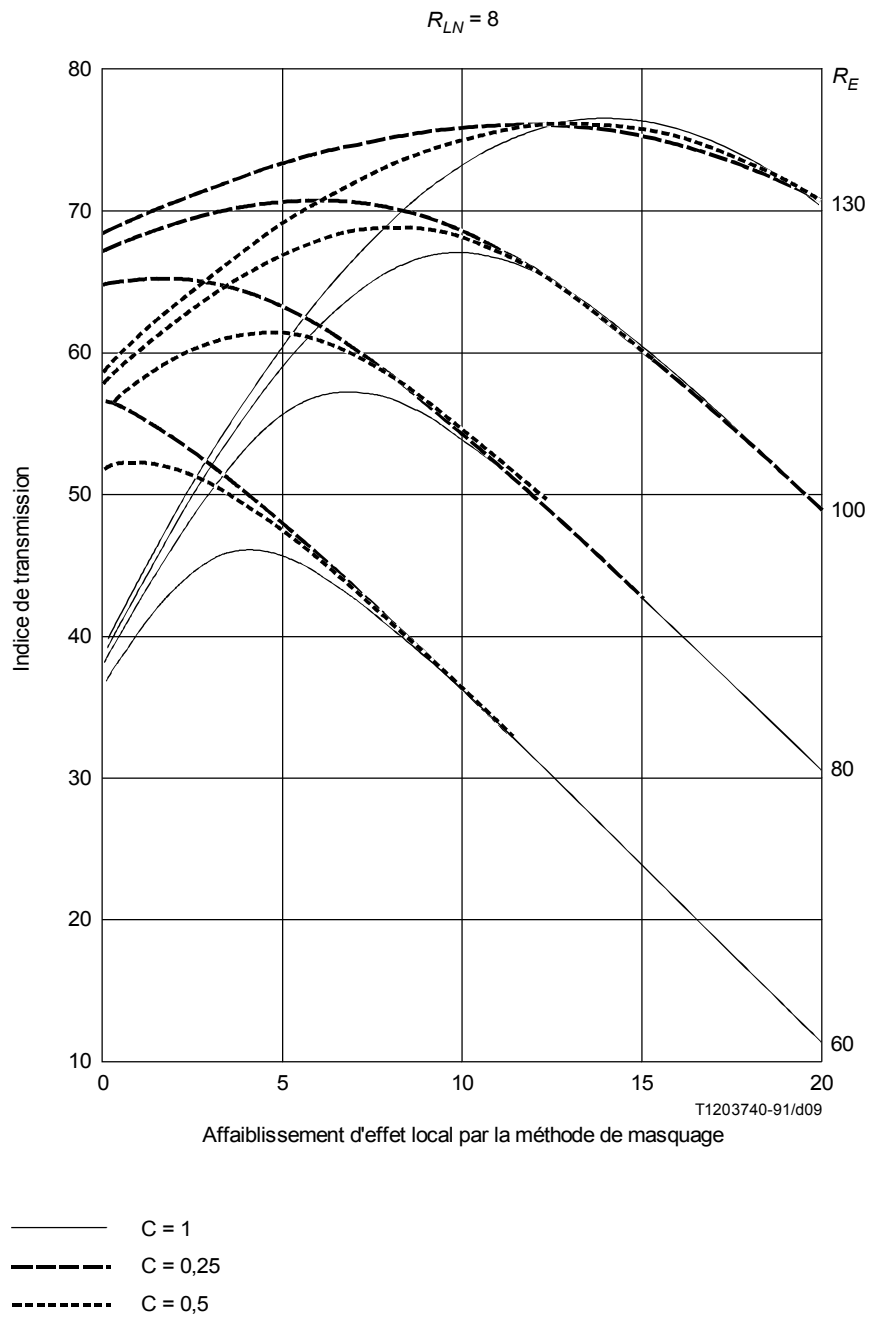


FIGURE 1-9  
 Indice de transmission pour l'OLR, le bruit de circuit,  
 l'écho pour la personne qui parle et l'effet local

Pour chaque base de données, la relation entre les appréciations subjectives et l'indice de transmission est indiquée à la Figure 1-10.

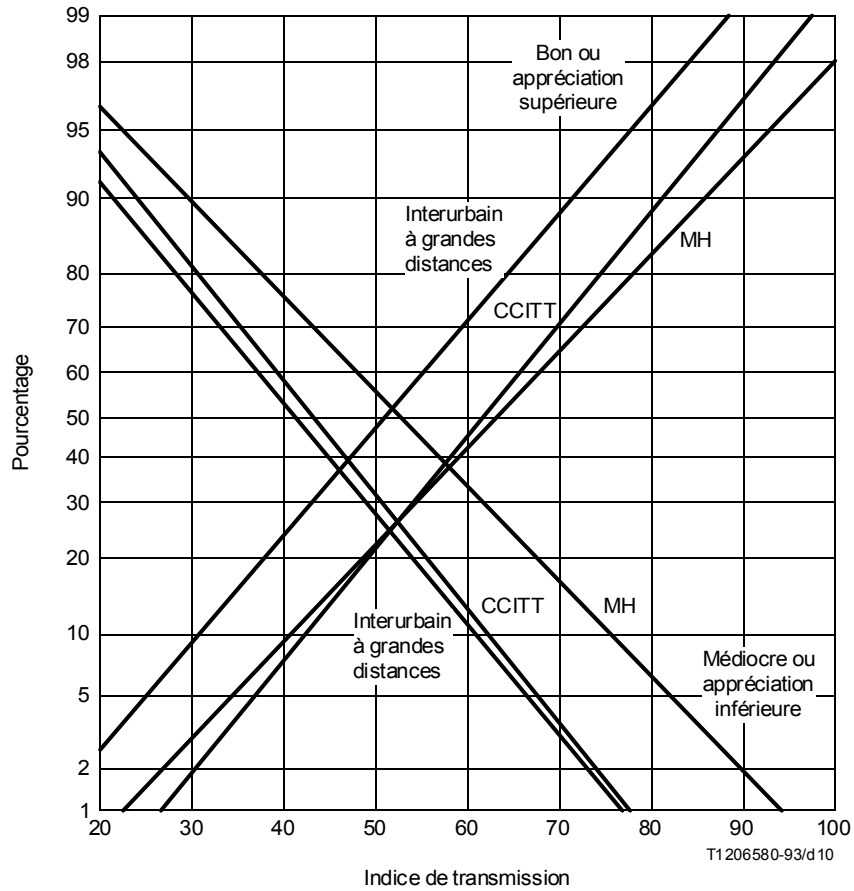


FIGURE 1-10  
**Comparaison des appréciations subjectives en fonction de l'indice de transmission**

| <i>Base de résultats<sup>2)</sup></i>                                   | <i>A</i>        | <i>B</i>        |
|---|-----------------|-----------------|
| Essai SIBYL de Murray Hill 1965   | (R-64,07)/17,57 | (R-51,87)/17,57 |
| Essais de conversation du CCITT   | (R-62)/15       | (R-43)/15       |
| Enquêtes relatives à des communications interurbaines à grande distance | (R-51,5)/15,71  | (R-40,98)/15,71 |

2) Ces trois bases de résultats traduisent différentes relations entre l'échelle de l'indice de transmission et les appréciations subjectives déterminées au cours de différents essais comme indiqué ci-après:

Essai SIBYL de Murray Hill 1965: Appréciations sur les communications d'affaires internes.

Essais de conversation du CCITT: Modèle composite d'appréciations recueillies lors d'essais de conversation en laboratoire.

Enquêtes relatives à des communications interurbaines nationales à grande distance: Appréciations exprimées par les clients de North American Telephone lors de questions posées à des usagers à la suite d'une communication interurbaine à grande distance.

## 2 Prédiction de la qualité de transmission à partir de mesures objectives (*Genève, 1980, modifié à Malaga-Torremolinos, 1984*) (citée dans la Recommandation P.11) (Contribution de British Telecom)<sup>3)</sup>

### Résumé

British Telecom fait souvent usage d'un modèle théorique pour prévoir la qualité de transmission des connexions téléphoniques. On trouvera ci-après une brève description de la structure de ce modèle, du programme d'ordinateur CATNAP – lequel reproduit sous forme simplifiée le modèle pour permettre les opérations périodiques – ainsi que des moyens de spécifier les connexions d'une façon pratique et commode.

### 2.1 Types de modèles

Deux types de modèles sont admis pour prévoir la qualité de transmission d'une connexion téléphonique complète au cours d'une conversation. Le premier type, mentionné dans l'article 1 du présent supplément, repose sur le traitement purement empirique d'observations fondamentales et peut conduire à établir un jeu de tableaux, des graphiques ou des formules relativement simples qui représentent la qualité de transmission en fonction de certaines qualités objectives. Dans un modèle de ce type, où l'attention se porte uniquement sur la correspondance entre l'entrée (quantités objectives) et la sortie (qualité subjective), la *forme* des fonctions employées ne joue en elle-même aucun rôle. Si, pour des raisons de commodité, on recherche généralement la simplicité, on ne l'obtient qu'aux dépens de la généralité. Par ailleurs, il est souvent difficile d'étudier les interactions entre des dégradations différentes, et un modèle purement empirique doit habituellement faire l'objet d'une révision complète lorsqu'on y introduit une nouvelle dégradation. Supposons, par exemple, que des relations aient été établies entre l'affaiblissement, le bruit et la note d'opinion pour une largeur de bande déterminée: si cette largeur de bande passe à une nouvelle valeur constante, il faudra déterminer de nouveau les fonctions et non pas procéder simplement à un ajustement constant de la sortie. En bref, on ne peut raisonnablement attendre d'un modèle purement empirique que des prévisions de valeur limitée.

Les modèles du second type (mentionnés en [13]) sont conçus pour remédier à ces inconvénients: la structure du processus d'évaluation reflète dans ce cas les relations de cause à effet qui conduisent de l'entrée (propriétés de la connexion, environnement acoustique, caractéristiques d'ouïe des participants, sons vocaux, systèmes de langage, etc.) à la sortie (satisfaction des participants ou évaluation de la qualité de transmission). Un tel modèle est évidemment plus compliqué que le premier et sa réalisation initiale demande plus de travail; en revanche, il peut par la suite se développer et s'appliquer d'une manière plus facile et plus sûre. A mesure que l'on dispose de données plus fiables et plus nombreuses, on peut et on doit revoir les paramètres numériques mais la structure, si on l'a bien choisie, demandera rarement d'importantes modifications. Comme outil de recherche, le second modèle se prête bien plus facilement qu'une collection de formules, utiles mais arbitraires, à l'élaboration d'hypothèses de travail. Comme outil de planification ou d'application, il se prête en outre aisément à une reproduction par programme informatique dans lequel on peut introduire à l'entrée des données faciles à recueillir (affaiblissements, longueurs des lignes, etc.).

### 2.2 Modèle et programmes: SUBMOD, CATPASS ET CATNAP

Le modèle décrit ici est le modèle fondamental. Il a pour objet de prévoir, à partir des données objectives fournies, l'évaluation de la force des sons, le degré de difficulté à l'écoute, les notes d'opinion concernant les conversations et les niveaux vocaux. Il est reproduit dans un programme appelé SUBMOD (abréviation de MODÈLE SUBJECTIF) qui accepte les réponses en fréquence globales des trajets de transmission de la parole en tant qu'entrée, et permet de modifier les paramètres du modèle afin de mieux faire concorder la théorie et l'observation.

Au stade actuel de développement, le modèle donne d'assez bons résultats en ce qui concerne les effets subjectifs de l'affaiblissement de circuit, de la distorsion affaiblissement en fonction de la fréquence, du bruit de circuit, du bruit de quantification, du bruit de salle et des trajets d'effet local pour une gamme assez étendue de valeurs et de combinaisons de ces caractéristiques. Les effets de certains autres phénomènes, qui peuvent eux aussi être approximativement évalués, ne sont pas encore incorporés dans le modèle. On n'a pas encore tenté de couvrir des caractéristiques telles que les effets de la commutation par la voix, du codage à fréquences vocales et d'autres moyens sophistiqués propres à réduire le débit d'information.

Le programme CATPASS (COMPUTER-AIDED TELEPHONY PERFORMANCE ASSESSMENT) représentait le même modèle sous une forme simplifiée, à paramètres fixes, avec des dispositifs de calcul de la réponse efficacité en fonction de la fréquence sur une connexion complète formée par une chaîne d'appareils ordinaires (postes téléphoniques, câbles, ponts d'alimentation, jonctions et filtres). Il était similaire au système décrit dans les documents cités en [14]

---

<sup>3)</sup> Anciennement Supplément n° 4 du *Livre rouge*.

et [15], mais son organisation était différente. CATPASS ne pouvait cependant traiter que des connexions symétriques, c'est-à-dire des connexions sur lesquelles les caractéristiques de transmission, de bruit de salle, d'effet local et de tout autre facteur pertinent étaient les mêmes pour les deux participants. Le programme CATPASS avait cédé la place au programme CATNAP (COMPUTER-AIDED TELEPHONE NETWORK ASSESSMENT PROGRAM), qui représentait une forme plus développée du modèle à paramètres fixes, permettant l'asymétrie des communications, et contenant des dispositifs de rassemblement de statistiques relatives à la qualité de transmission sur des séries de communications [16].

Le programme CATNAP a cédé à son tour la place au programme CATNAP83, auquel trois principales modifications ont été apportées:

- a) légères améliorations du modèle subjectif;
- b) calcul de l'équivalent pour la sonie conformément à la Recommandation P.79, au lieu de la version provisoire qui malgré l'indication de la version antérieure de ce Supplément [17] a été utilisée pour calculer les équivalents pour la sonie dans CATNAP;
- c) introduction d'une plus grande souplesse pour que des paramètres tels que le facteur d'affaiblissement de couplage de l'écouteur ( $L_E$ ) puissent dépendre du type de combiné.

### 2.3 Situation à reproduire

Représentons par A et B deux correspondants «moyens» engagés dans une conversation téléphonique établie par une liaison qui se termine par des combinés téléphoniques situés dans des locaux sans réverbération anormale et où sont observés les niveaux spécifiés du bruit de salle. Par «moyens», on entend les correspondants dont les caractéristiques d'audition et d'élocution sont représentatives, ces correspondants ayant une attitude normale devant leur poste téléphonique, de sorte que leur appréciation de la liaison téléphonique puisse être mesurée par la note moyenne d'opinion ( $Y_C$ ) et le pourcentage de difficulté (% $D$ ) que donnerait un essai de conversation, comme il est décrit dans la Recommandation P.80.  $Y_C$  peut prendre toute valeur comprise entre 4 et 0, l'échelle étant la suivante: 4 = excellent, 3 = bon, 2 = assez bon, 1 = médiocre, 0 = mauvais. % $D$  peut évidemment prendre toute valeur comprise entre 0 (pour les meilleures communications) et 100% (pour les plus mauvaises).

Pour une connexion donnée, les grandeurs les plus intéressantes sont  $Y_C$ , % $D$  et le niveau vocal pour chaque participant. D'autres grandeurs auxiliaires présentant une certaine utilité sont cependant calculées au cours de l'évaluation, par exemple les équivalents pour la sonie des différents trajets (calculés conformément à la Recommandation P.79) et  $Y_{LE}$ , la note moyenne d'effort à l'écoute qui résulterait d'un essai d'écoute conduit comme l'indique le document cité dans la Recommandation P.80. Dans ce type d'essai d'écoute, des listes de phrases ayant à l'entrée un niveau vocal normalisé sont transmises sur la communication et l'auditeur donne un avis, pour un certain nombre de niveaux d'écoute différents, sur «l'effort d'écoute» conformément à l'échelle suivante:

Efforts nécessaires à la compréhension des phrases

- A Détente absolue; aucun effort
- B Attention nécessaire; pas d'effort appréciable
- C Effort modéré
- D Effort considérable
- E Signification incompréhensible en dépit de tous les efforts possibles.

Les notes correspondantes sont les suivantes: A = 4, B = 3, C = 2, D = 1, E = 0; la moyenne établie sur tous les auditeurs s'appelle l'opinion d'effort à l'écoute,  $Y_{LE}$ , pour chaque niveau d'écoute et chaque condition de circuit.

On trouvera de plus amples renseignements sur les essais de conversation et les essais d'audition en [18], ainsi que dans la Recommandation P.80.

### 2.4 Description générale du modèle

A l'entrée, le modèle demande les données suivantes:

- 1) la caractéristique globale efficacité en fonction de la fréquence de chaque trajet de transmission (de la bouche de la personne qui parle à l'oreille de la personne qui écoute en passant par la connexion) et du trajet d'effet local (de la bouche de la personne qui parle à sa propre oreille). Ces efficacités peuvent être mesurées en suivant la méthode décrite dans la Recommandation P.64 ou calculées comme il est indiqué en [14];

- 2) le niveau et le spectre de bruit à l'oreille de chaque personne qui écoute, englobant le bruit de circuit, le bruit de salle parvenant directement à l'oreille de la personne qui écoute et le bruit de salle perçu par celle-ci par l'intermédiaire du trajet d'effet local. En l'absence de mesures spécifiques, on admet des niveaux et des spectres de bruit normalisés, par exemple un bruit de salle avec un spectre de Hoth à 50 dBA, un bruit de circuit avec spectre à bande limitée à un niveau de pondération psophométrique spécifié;
- 3) le spectre moyen des sons vocaux et le seuil moyen d'audition, donnés à titre d'exemples dans le document cité en [19].

C'est à partir de ces données que l'on calcule les équivalents pour la sonie. Avec des niveaux vocaux fixes, on évalue pour chaque participant  $Y_{LE}$  et une valeur provisoire de  $Y_C$ . Les relations entre  $Y_C$  et le niveau vocal à chaque extrémité servent ensuite à affiner les valeurs des deux caractéristiques, de sorte que les estimations finales représentent la qualité de transmission à des niveaux réalistes du volume vocal pendant les conversations.

## 2.5 Calcul de la force des sons et des équivalents pour la sonie

Le modèle commence par régler le niveau des sons vocaux émis par chaque interlocuteur sur une valeur normalisée et par calculer le niveau et le spectre résultant de la parole et du bruit à l'oreille de chaque personne qui écoute. La force des sons des signaux vocaux reçus est calculée en fonction du niveau du signal, du niveau du bruit et du seuil d'audition, avec intégration sur la gamme de fréquences qui va normalement de 179 à 4472 Hz (14 bandes, la plus basse centrée sur 200 Hz et la plus haute centrée sur 4000 Hz). On calcule de façon similaire la force des sons des signaux vocaux pour l'effet local, mais en tenant compte de l'effet supplémentaire de masque exercé par la parole qui atteint l'oreille dans des conditions naturelles (par trajet aérien ou par conduction osseuse). Les indices de force des sons des différents trajets sont évalués par comparaison avec la force des sons des signaux vocaux transmis sur un système de référence intermédiaire: équivalents pour la sonie à l'émission (SLR), équivalents pour la sonie à la réception (RLR), affaiblissement d'effet local par la méthode de masquage (STMR) à chaque extrémité et équivalents globaux pour la sonie (OLR) dans chaque direction.

La méthode n'est pas exposée ici en détail. La partie «sonie» du modèle est par elle-même importante, mais elle n'est pas étroitement liée au reste du modèle. Le programme donne des équivalents pour la sonie calculés conformément à la Recommandation P.79, mais il calcule aussi une série d'équivalents pour la sonie conformément à la méthode antérieure; ces équivalents sont utilisés pour des calculs subséquents.

## 2.6 Calcul de la note d'opinion d'effort à l'écoute

Cette partie du modèle vise à reproduire les résultats que donnerait un essai d'écoute.

On a trouvé possible d'estimer  $Y_{LE}$  en suivant un processus similaire au processus déjà bien connu pour calculer l'opinion relative à la force et à la netteté des sons. Pour commencer, on calcule comme suit une quantité intermédiaire appelée indice d'opinion à l'écoute (LOI) (*listening opinion index*); chaque bande constitutive de la gamme de fréquences apporte au LOI une contribution proportionnelle au produit  $B'_f P(Z_f)$ , où  $B'_f$  est un facteur de pondération de fréquence qui exprime l'importance relative de cette bande constitutive pour une compréhension sans effort et où  $P$  est une fonction de croissance appliquée au niveau de sensation  $Z$  (déjà évalué pour calculer la force des sons). Les valeurs réelles des pondérations de fréquence diffèrent quelque peu des valeurs utilisées pour calculer la force et la netteté des sons; la fonction de croissance est limitée à la gamme de 0 à 1, comme pour la netteté, mais la formule utilisée est:

$$P(Z) = 10^{\frac{Z + 3,8}{10}} \quad \text{si } Z < -11$$

$$P(Z) = 1 - 10^{\frac{-0,3(Z + 14)}{10}} \quad \text{si } Z \text{ a une autre valeur}$$

LOI est proportionnel à  $\int B'_f P(Z_f) df$ , mais en pratique l'intégrale est remplacée par une sommation couvrant un certain nombre de bandes (normalement 14) dans chacune desquelles  $Z_f$  et  $B'_f$  demeurent assez constants, comme dans le cas de l'évaluation de la force des sons. La formule utilisée en pratique est la suivante:

$$\text{LOI} = AD \sum_i B'_i P(Z_i)$$

où

$B'_i$  est la pondération de fréquence pour la  $i$ -ème bande (voir le diagramme de la Figure 2-1);

$Z_i$  est la valeur moyenne de  $Z$  dans la  $i$ -ème bande;



- $P$  est la fonction de croissance appropriée (représentée à la Figure 2-2);
- $A$  est un multiplicateur qui dépend du niveau vocal à la réception; la valeur de  $A$  est de 1 pour une gamme étroite de niveaux centrée sur le niveau optimal, mais elle décroît rapidement si l'on s'écarte de cette gamme [voir la Figure 2-3, où l'abscisse 0 correspond à l'OLR = 8 dB au lieu de 4 dB comme précédemment];
- $D$  est un multiplicateur dont la valeur dépend du niveau de bruit à la réception [bruit de circuit injecté (ICN-RLR) (*injected circuit noise*)], avec une valeur décroissant lentement de 1 pour des niveaux de bruit négligeables à 0 pour des niveaux très élevés (voir la Figure 2.4).

Ce n'est donc que pour des signaux vocaux à large bande, exempts de bruit et de distorsion, et pour un niveau d'audition optimal, que LOI atteint sa valeur maximale de 1.

La relation entre LOI et  $Y_{LE}$  dépend de la qualité de transmission à laquelle les personnes qui écoutent ont été accoutumées les derniers temps. On constate que le critère de jugement des sujets est principalement déterminé par la meilleure condition de circuit rencontrée pendant l'expérience en cours ou, pour les communications réelles, par la qualité des meilleures communications généralement obtenues. Par exemple, une condition de circuit à laquelle a été attribuée une note presque égale à 4 pendant une expérience où c'était la condition optimale, n'obtiendra peut-être que la note 3 si la même expérience comporte une condition en pratique parfaite et une note d'environ 3,5 si, dans la même expérience, la meilleure condition équivaut, du point de vue de la qualité, à la meilleure communication à laquelle on peut normalement s'attendre avec le système téléphonique de British Telecom. Un paramètre  $LOI_{LIM}$ , introduit à ce propos, spécifie la valeur de LOI qui correspond à la valeur maximale de  $Y_{LE}$ ; ce paramètre est généralement fixé à 0,885 quand la qualité des communications est évaluée par rapport à la qualité observée sur le réseau téléphonique de British Telecom. En termes généraux la relation est la suivante:

$$\ln\left(\frac{Y_{LE}}{4 - Y_{LE}}\right) = 1,465 \left[ \ln\left(\frac{LOI}{LOI_{LIM} - LOI}\right) - 0,75 \right]$$

ainsi que le montre la Figure 2.5. Cela nous amène au point où  $Y_{LE}$  a été évalué pour chaque participant en fonction du niveau d'écoute – en particulier, au niveau d'écoute établi pour chacun des participants lorsque son interlocuteur parle au niveau vocal de référence (RVL) (*reference vocal level*) défini en [20].

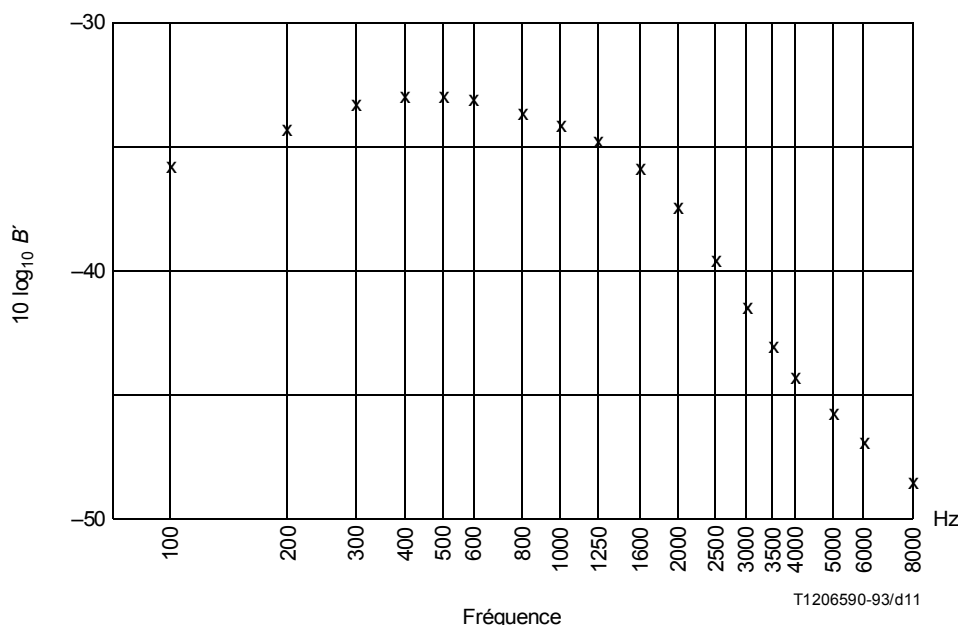


FIGURE 2-1

**Facteur  $B'$  de pondération de fréquence pour l'indice d'opinion à l'écoute**

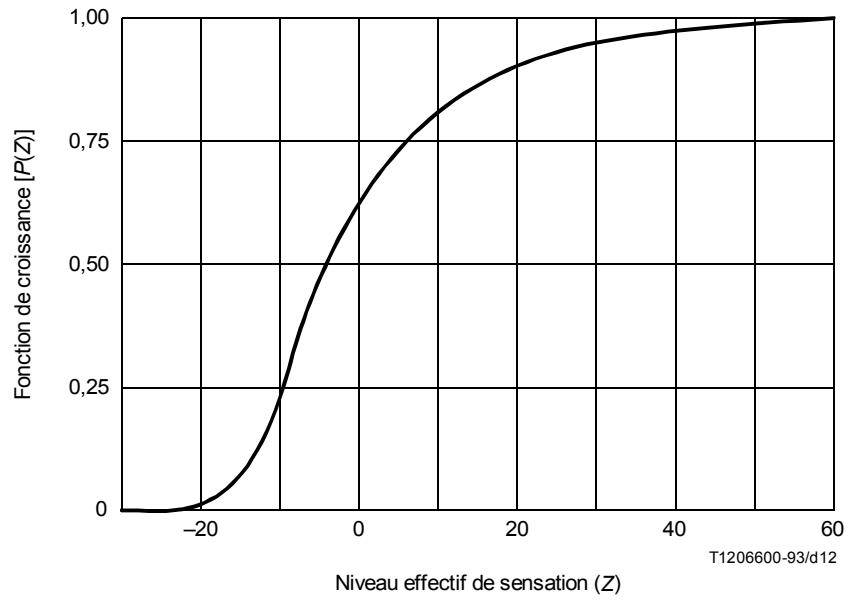


FIGURE 2-2  
Fonction de croissance  $P(Z)$

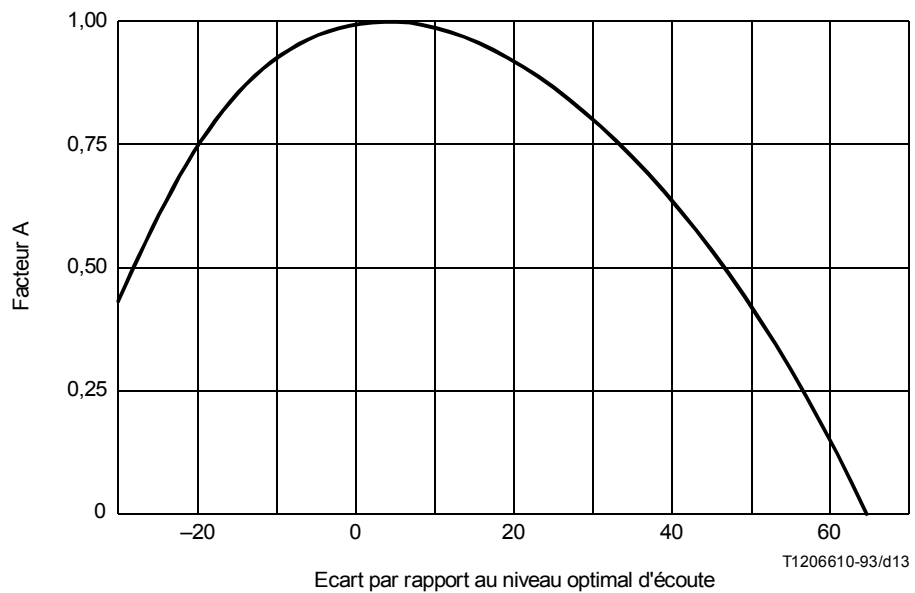


FIGURE 2-3  
Effet du niveau d'écoute sur l'indice d'opinion à l'écoute

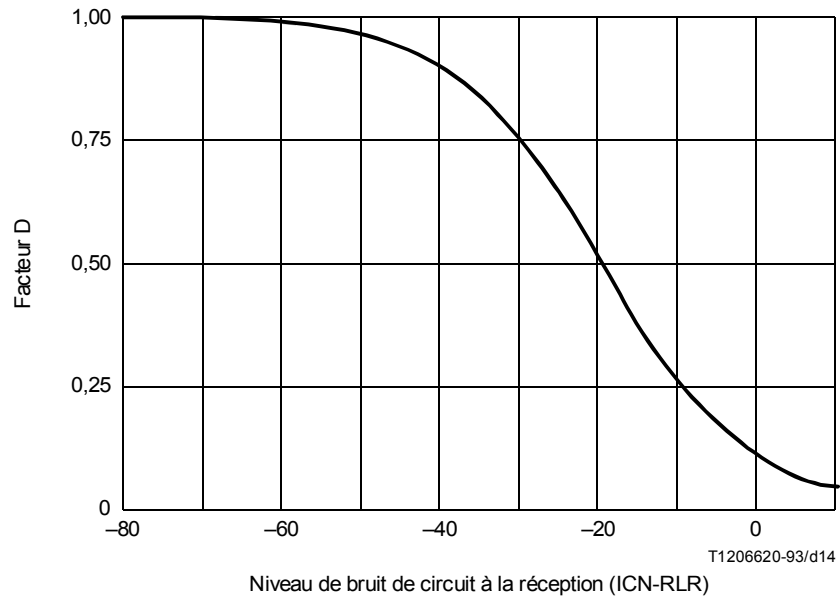


FIGURE 2-4  
Effet du niveau de bruit à la réception sur l'indice d'opinion à l'écoute

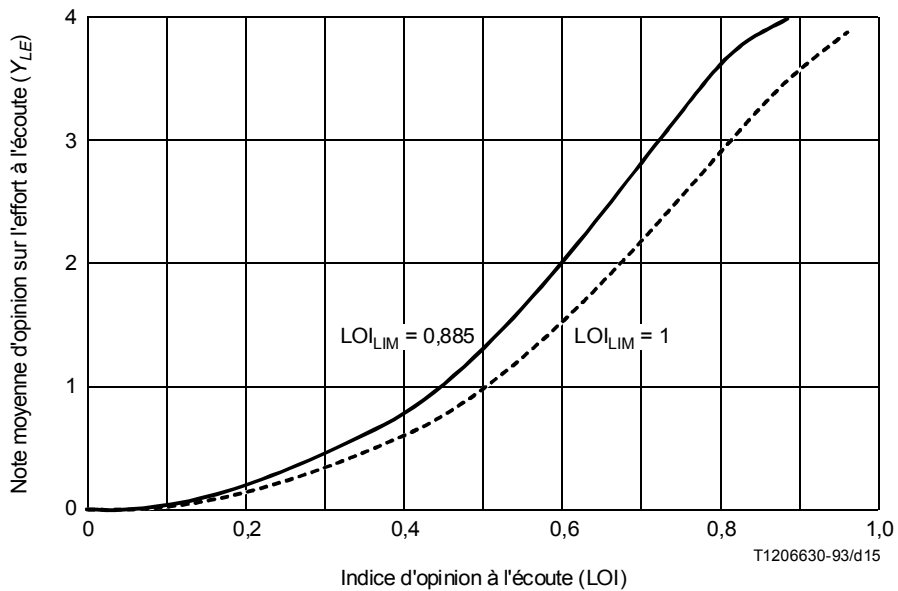


FIGURE 2-5  
Note d'opinion à l'écoute en fonction de l'indice d'opinion à l'écoute

## 2.7 Calcul de la note d'opinion pour la conversation

Pour convertir une valeur de  $Y_{LE}$ , au niveau d'écoute approprié, à la valeur correspondante de la note moyenne d'opinion pour la conversation ( $Y_C$ ), il est nécessaire de tenir compte des écarts du niveau vocal moyen par rapport à RVL.

Le symbole  $V_L$  représente le niveau vocal (en dBV) à la sortie d'une extrémité d'émission lorsque le niveau acoustique à l'entrée (point de référence de la bouche) est RVL. Pendant la conversation, un niveau différent ( $V_C$ ) prévaudra généralement au même point, les participants tendant à élever la voix si les signaux vocaux qui leur parviennent sont faibles ou de qualité médiocre et à baisser la voix si ces signaux sont forts. En d'autres termes,  $V_C$  à l'extrémité  $A$  dépend de  $Y_{LE}$  à l'extrémité  $A$ , ce qui dépend de  $V_C$  à l'extrémité  $B$ , ce qui dépend de  $Y_{LE}$  à l'extrémité  $B$ , ce qui dépend à son tour de  $V_C$  à l'extrémité  $A$ . Il y a donc une dépendance circulaire ou effet de réaction.

Les trajets d'effet local donnent lieu à des complications lorsque les STMR sont inférieurs à 13 dB (sans compter la contribution de bruit apportée par l'environnement dans la voie de réception, comme on l'a déjà expliqué). Toutes choses égales d'ailleurs, le niveau vocal de chaque interlocuteur diminue de presque 1 dB chaque fois que, en dessous de 13 dB, le STMR diminue de 3 dB. Etant donné l'effet de réaction, il s'ensuit une nouvelle modification des notes d'opinion et des niveaux vocaux aux deux extrémités.

Ajoutons que des niveaux très élevés d'effet local sont par eux-mêmes déplaisants, notamment quand d'autres facteurs conduisent à la médiocre qualité d'une communication.

Les formules suivantes semblent assez bien représenter cette interaction complexe:

$Y_C$  est une grandeur intermédiaire qui sera expliquée plus loin.

$$\ln\left(\frac{Y_C}{4 - Y_C}\right) = 0,7 \left[ \ln\left(\frac{Y_{LE}}{4 - Y_{LE}}\right) + 0,5 - \frac{K(13 - \text{STMR})}{20} \left(\frac{4 - Y_{LE}}{Y_{LE}}\right)^2 \right] \quad (2-1)$$

$$V_C - V_L = 4,0 - 2,1 Y_C - 0,3 K (13 - \text{STMR}) \quad (2-2)$$

$$\ln\left(\frac{Y_C}{4 - Y_C}\right) = 0,8451 \ln\left(\frac{Y_C}{4 - Y_C}\right) - 0,2727 \quad (2-3)$$

où

$K = 1$  si  $\text{STMR} < 13$ ,

$K = 0$  si  $\text{STMR} \geq 13$ .

En insérant dans la formule (2-1) la valeur de  $Y_{LE}$  déjà trouvée pour l'extrémité  $A$  – qui s'appliquerait pour  $V_C = V_L$  à l'extrémité  $B$  – on obtient une première approximation de  $Y_C$ , puis, à partir de la formule (2-2) une approximation de  $V_C$  à l'extrémité  $A$ . Les premiers calculs sont répétés avec ce niveau vocal pour trouver une nouvelle valeur de  $Y_{LE}$  à l'extrémité  $B$ , d'où une approximation de  $Y_C$  et  $V_C$  à l'extrémité  $B$ . Le processus se répète cycliquement jusqu'à ce que toutes les valeurs de  $Y_C$  convergent vers une valeur établie; les équations (2-1) et (2-2) sont alors simultanément satisfaites.

La Figure 2-6 montre la forme de la relation résultante entre  $Y_{LE}$  et  $Y_C$  pour deux STMR différentes, avec  $V_C$  à sa valeur propre. La transformation [équation (2-3)], illustrée par la Figure 2-7 est alors appliquée à la note intermédiaire  $Y_C$  qui est représentée dans la Figure 2-8 en fonction de  $Y_{LE}$ .

## 2.8 Evaluation d'autres mesures subjectives de la qualité de transmission

On a mis au point des relations pour différentes dichotomies de l'échelle d'opinion – par exemple, proportion des notes supérieures à 2 (notes correspondant à «excellent» ou «bon») – et pour le pourcentage de réponses positives à la question «difficulté» dans la Recommandation P.80.

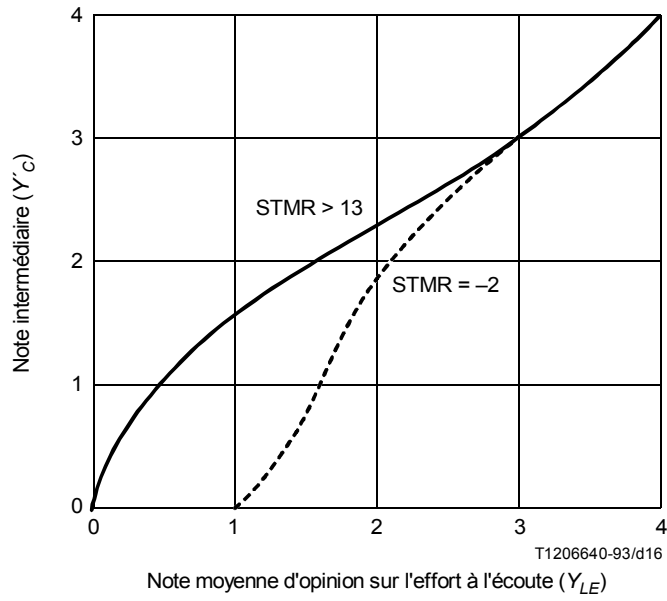


FIGURE 2-6  
 Note intermédiaire en fonction de la note d'opinion à l'écoute

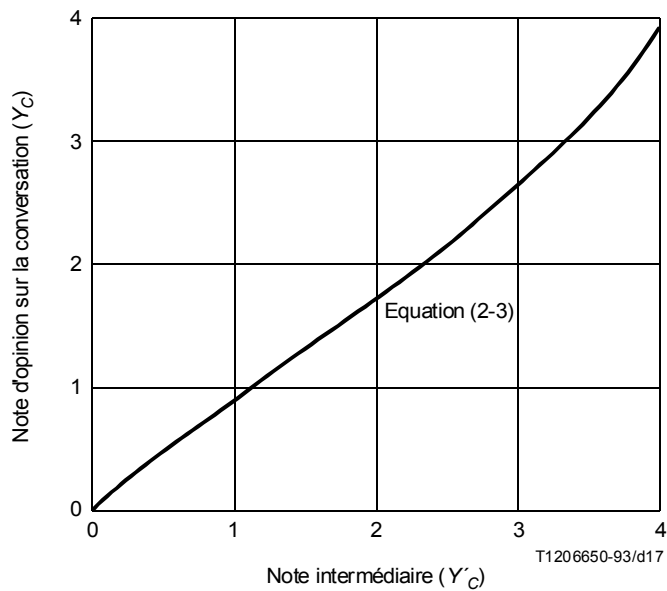


FIGURE 2-7  
 Note d'opinion sur la conversation en fonction de la note intermédiaire

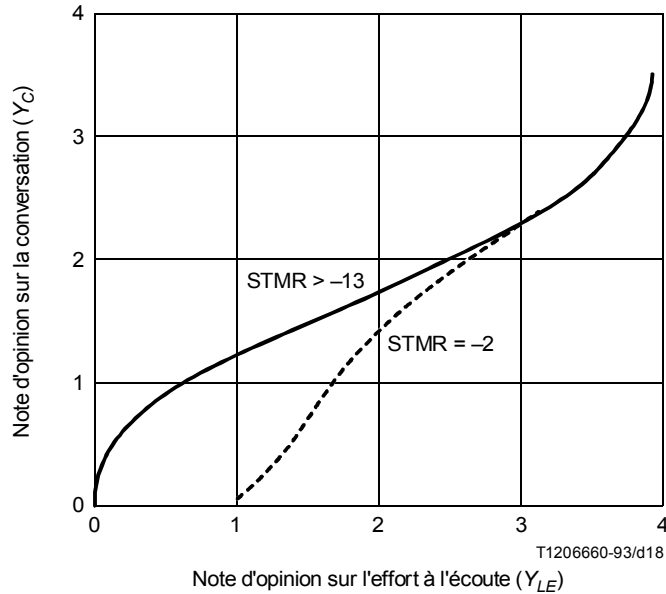


FIGURE 2-8  
**Note d'opinion sur la conversation en fonction de la note d'opinion à l'écoute**

Par exemple, le pourcentage «difficulté» est représenté par la formule:

$$\ln\left(\frac{D}{1-D}\right) = -2,3 \ln\left(\frac{Y_C}{4-Y_C}\right)$$

où

$$D \times 100 = \%D$$

Ces relations ne sont cependant satisfaisantes que pour certains types de dégradations; leur examen se poursuit.

## 2.9 Correspondance entre les valeurs calculées et les valeurs observées

Pour des connexions symétriques, à condition d'exclure de très hauts niveaux d'effet local et de bruit de salle, le modèle concorde assez bien avec les résultats d'essais de conversation en laboratoire effectués au Royaume-Uni. Les plus récents essais en laboratoire montrent pour les niveaux vocaux et, par conséquent, les notes d'opinion, une tendance à la baisse par rapport aux résultats antérieurement observés, mais les relations entre les conditions de circuit n'en sont pas très perturbées. On croit, bien que cela ne soit pas encore tout à fait établi, que les mêmes relations demeurent valides pour d'autres populations de sujets – en particulier pour la population des usagers habituels de British Telecom – même si d'autres populations de sujets ou d'autres méthodes expérimentales peuvent conduire à des notes d'opinion différentes en valeur absolue.

On ne dispose que de peu de résultats d'expériences portant sur des connexions asymétriques, mais ces résultats indiquent que le modèle prévoit une trop grande divergence entre les deux extrémités de la connexion – surtout pour  $V_C$ , à un degré moindre que pour  $Y_C$ . Il est proposé d'introduire une caractéristique de réaction pour réduire la divergence entre les deux valeurs de  $V_C$ , mais il faudra veiller à ce qu'il n'en résulte pas une trop grande réduction de la divergence pour  $Y_C$ . Dans l'Annexe A, la communication fictive de référence 4 donne un exemple de calculs CATNAP pour une série de communications avec affaiblissements asymétriques: comparer ces prévisions avec celles données en [23].

On a comparé des prévisions de  $Y_C$  et  $V_C$  établies avec les deux CATNAP83 avec les résultats d'un certain nombre d'essais de conversation effectués au Royaume-Uni depuis 1976. Le degré de concordance est résumé dans le Tableau 2-1.

TABLEAU 2-1

**Comparaison des résultats observés (O) et prévus (P) pour deux modèles**

| Programme | Type de connexion         | Nombre de conversations | Ecart (O – P) |       |                            |       |
|-----------|---------------------------|-------------------------|---------------|-------|----------------------------|-------|
|           |                           |                         | Moyenne       |       | Valeur quadratique moyenne |       |
|           |                           |                         | $V_C$         | $Y_C$ | $V_C$                      | $Y_C$ |
| CATNAP    | Seulement symétrique      | 680                     | -0,8          | -0,29 | 4,1                        | 0,41  |
| CATNAP    | Symétrique et asymétrique | 883                     | -1,0          | -0,22 | 3,8                        | 0,38  |
| CATNAP83  | Seulement symétrique      | 680                     | -0,2          | -0,02 | 4,0                        | 0,26  |
| CATNAP83  | Symétrique et asymétrique | 883                     | -0,4          | +0,14 | 3,8                        | 0,44  |

On constatera que l'on a obtenu l'amélioration de  $Y_C$  prévue pour des connexions symétriques moyennant une légère augmentation de l'écart quadratique moyen de  $Y_C$  lorsque les connexions asymétriques sont incluses. Mais compte tenu des futures modifications qui seront certainement nécessaires pour des prévisions convenables de la qualité de transmission des connexions asymétriques, il y a lieu pour le moment de s'en tenir principalement aux résultats obtenus pour des connexions symétriques.

**2.10 Incorporation de dégradations diverses**

**2.10.1 Distorsion de quantification MIC**

L'article décrit en [21] une méthode de traitement des effets de la distorsion de quantification dans les systèmes MIC. Il y est établi qu'une quantité  $Q$ , représentant en dB la valeur efficace du rapport parole/bruit de quantification, peut être évaluée, pour tout type spécifié de système MIC, en fonction du niveau vocal à l'entrée. On a constaté que l'effet subjectif d'une valeur donnée de  $Q$  est approximativement celui d'un niveau de bruit de circuit continu inférieur de  $G$  dB au niveau vocal,

$$G = 1,07 + 0,285 Q + 0,0602 Q^2$$

Ainsi, pour une connexion comportant des liaisons MIC, il faut inclure une évaluation du niveau de bruit équivalent dans le processus itératif qui détermine  $V_C$ : chaque approximation successive de  $V_C$  conduit à une nouvelle valeur de  $Q$ , d'où une nouvelle valeur de  $G$ , d'où une nouvelle contribution au bruit de circuit à prendre en considération pour calculer la nouvelle valeur de  $Y_{LE}$ . Dans la pratique, ces modifications ont un effet négligeable, sauf si le niveau vocal à l'entrée du système MIC tombe au-dessous d'environ -25 dBV, ou si le bruit de circuit au même point est très élevé, ou encore si le niveau vocal à l'entrée est si haut (par exemple > -5 dBV) qu'il se produit une appréciable limitation de crête.

**2.10.2 Compression-extension syllabique**

On peut facilement traiter le cas d'un compresseur-extenseur syllabique 2/1 en trouvant un niveau de bruit continu subjectivement équivalent.

Soit  $S$  le niveau des signaux vocaux à l'entrée du compresseur et  $N$  le niveau de bruit (psophométriquement pondéré) qui se produit entre le compresseur et l'extenseur,  $S$  et  $N$  étant exprimés en dB par rapport au niveau non affecté. Les niveaux résultants à la sortie de l'extenseur seront alors ceux indiqués au Tableau 2-2.

TABLEAU 2-2

|  | Parole | Bruit en même temps que la parole | Bruit en l'absence de parole |
|--|--------|-----------------------------------|------------------------------|
| Niveau à l'entrée du compresseur                               | $S$    | –                                 | –                            |
| Gain du compresseur (dB)                                       | $-S/2$ | –                                 | –                            |
| Niveau à la sortie du compresseur et à l'entrée de l'extenseur | $S/2$  | $N$                               | $N$                          |
| Gain de l'extenseur (dB)                                       | $S/2$  | $S/2$                             | $N$                          |
| Niveau à la sortie de l'extenseur                              | $S$    | $N + S/2$                         | $2N$                         |
| Niveau au même point en l'absence de compresseur               | $S$    | $N$                               | $N$                          |
| Amélioration   | –      | $-S/2$                            | $-N$                         |

Il est à noter que les valeurs de  $S$  et de  $N$  étant normalement négatives, les améliorations sont positives. Tout bruit présent à l'entrée du compresseur sera présent au même niveau à la sortie de l'extenseur et se combinera par addition de puissance avec un autre bruit au même point.

La qualité de transmission subjectivement équivalente s'obtient en remplaçant le compresseur par un niveau de bruit continu satisfaisant aux conditions suivantes:

$$\begin{aligned} \text{amélioration totale} &= 1/3 (\text{amélioration en présence de parole}) + \\ &+ 2/3 (\text{amélioration en l'absence de parole}) \\ &= -S/6 - 2N/3 \end{aligned}$$

d'où

$$\begin{aligned} \text{niveau de bruit équivalent} &= N - \text{amélioration} \\ &= N + S/6 + 2N/3 = S/6 + 5N/3 \end{aligned}$$

Ce niveau de bruit est de nouveau calculé à partir de  $V_C$  pour chaque itération; il sert à calculer la prochaine valeur de  $Y_{LE}$ .

### 2.10.3 Temps de propagation et écho

L'audibilité et l'effet préjudiciable de l'écho peuvent être exprimés sous forme d'une fonction raisonnablement simple du temps de propagation et de l'équivalent pour la sonie sur le trajet d'écho; toutefois, le rôle plus étendu que jouent, dans la dégradation de la conversation, l'écho et le temps de propagation sur le trajet principal ne peut actuellement que faire l'objet d'une estimation *ad hoc* fondée sur la performance connue de conditions de circuit dans des parties voisines de la gamme étudiée. Des mesures sont prises pour développer le modèle dans ce sens, compte tenu également de l'interaction du temps de propagation et de l'écho ainsi que de l'effet local et de la distorsion de non-linéarité.

### 2.10.4 Diaphonie

La partie «force des sons» du modèle peut servir à évaluer, pour différents affaiblissements, l'audibilité de la diaphonie; cette partie permet donc de trouver l'affaiblissement nécessaire pour réduire la diaphonie à un niveau inaudible ou acceptable.

## 2.11 Utilisation pratique du modèle

Au niveau académique ou à celui de la recherche, un modèle de ce type sert essentiellement à faciliter la compréhension des principes fondamentaux de la téléconnexion entre les êtres humains et à trouver les moyens d'améliorer les techniques appliquées dans les systèmes de télécommunications.

Au niveau de la pratique, le principal avantage du modèle est de coder avec beaucoup d'économie les données concernant la qualité de transmission des connexions téléphoniques, ce qui permet de se dispenser de tabulations ou de graphiques longs et complexes. Pour les connexions où n'apparaissent que des dégradations «naturelles», le programme CATNAP facilite beaucoup l'emploi courant du modèle. L'utilisateur de ce programme peut tout ignorer de la théorie, à part la signification des termes et des symboles utilisés; normalement, il n'a besoin de procéder à aucune mesure spéciale. Les connexions sont spécifiées en termes de quantités et d'éléments normalisés: niveaux de bruit, appareils téléphoniques de types particuliers, longueurs de câble avec indication de la résistance et de la capacité au km, lignes d'affaiblissement avec indication de l'affaiblissement, etc. A partir de ces données, le programme procède à tous les calculs nécessaires et une unité imprime les évaluations de force des sons, les niveaux des signaux vocaux et les notes d'opinion ( $Y_{LE}$  et  $Y_C$ ). La sortie imprimée peut, sur demande, comporter des renseignements plus détaillés.



Il serait évidemment possible de dresser un large tableau de résultats couvrant une grande variété de connexions, mais ce tableau serait alors soit de dimensions incommodes, soit d'une valeur limitée par le choix de valeurs fixes et arbitraires pour de nombreuses variables. Dans les deux cas on perdrait l'avantage offert par le modèle: information codée avec économie et obtention sur demande de la partie requise, et uniquement de cette partie.

CATNAP peut aussi être utilisé dans le sens inverse. Supposons que l'on souhaite trouver la valeur d'une variable quelconque de la connexion (variable indépendante) qui donnera à l'une des variables dépendantes une valeur donnée. Par passages du programme avec différentes valeurs de la variable indépendante, on identifie une région dans laquelle se trouve la valeur requise; les calculs peuvent alors se répéter à intervalles de plus en plus serrés jusqu'à ce que l'on repère avec une précision suffisante la valeur voulue. Par exemple, quand tous les éléments, à l'exception de la ligne locale, demeurent fixes, on peut trouver la longueur de ligne (pour le type de câble en question) qui donnera des valeurs d'OLR inférieures à une quelconque valeur maximale spécifiée ou des valeurs de  $Y_C$  supérieures à une quelconque valeur minimale spécifiée. Il est certainement possible d'ajuster plus d'une variable dépendante, mais il faudra alors plus de travail pour trouver les combinaisons qui satisfont au critère.

Ces possibilités sont d'une évidente utilité.

### 3 Calcul de la qualité de transmission à partir de mesures objectives par la méthode d'indice d'information (Contribution de la France)

#### 3.1 Introduction; type de modèle

La référence [24] décrit la théorie de l'indice d'information. On peut calculer cette quantité à partir des résultats de mesures objectives et de quelques données fondamentales sur la parole et l'audition. Le modèle tient compte de l'affaiblissement, du bruit de circuit, du bruit de salle, de la distorsion d'affaiblissement, de l'effet local et de diverses distorsions qui se produisent en transmission numérique. L'effet d'autres formes de distorsion de non-linéarité est à l'étude.

Ce modèle appartient au second type mentionné en [25] et dans 2.1, puisqu'il reflète les relations de cause à effet de l'entrée (propriétés de la connexion considérée, environnement acoustique, certaines propriétés de la parole et de l'ouïe) à la sortie (information mutuelle transmise entre le locuteur et l'auditeur). L'article 3 ne décrit que la méthode suivie en pratique pour calculer l'indice d'information. Comme on le montre, le document cité en [24] et dans les Tableaux 3-4 et 3-7, les valeurs ainsi calculées sont fortement corrélées aux résultats d'essais subjectifs d'opinion effectués dans plusieurs pays.

#### 3.2 Application à la transmission numérique

##### 3.2.1 Définitions

Le Tableau 3-1 définit les divers rapports signal/bruit à considérer (en dB).

TABLEAU 3-1

| Notations |                                | Définitions  |
|-----------|--------------------------------|--|
| Note 1    | Note 2                         |  |
| $Q_M$     | $Q, Q_j$                       | Rapport signal/bruit, maintenu constant par un ARBM (appareil de référence pour le bruit modulé)   |
| $Q_{seg}$ | $Q_s$                          | Rapport signal/bruit ou signal/distorsion segmental (moyenne en dB des rapports calculés sur des segments de 16 ou 32 ms)                |
| $Q_P$     |                                | Rapport (en dB) de la puissance moyenne du signal à la puissance moyenne du bruit ou de la distorsion, pour un bruit corrélé à la parole |
| NOTES     |                                |  |
| 1         | Dans toute la bande transmise. |  |
| 2         | A la fréquence $f_j$ .         |  |

Soit  $s$  le signal vocal originel et  $r$  le signal restitué, on a:

$$Q_P = 10 \log_{10} \left[ \frac{\sum s^2}{\sum (s - r)^2} \right] \text{ dB} \quad (3-1)$$

Si les sommes sont prises sur toute une émission de parole,  $Q_P$  n'est pas un critère satisfaisant de qualité; pour une fréquence d'échantillonnage de 8 kHz, on a:

$$Q_{seg} = \frac{1}{M} \sum_{m=0}^{M-1} 10 \log_{10} \frac{\sum_{j=1}^{128} s^2 (j + 128 m)}{\sum_{j=1}^{128} [s (j + 128 m) - r (j + 128 m)]^2} \text{ dB} \quad (3-2)$$

où  $M$  est le nombre de segments de 16 ms.

Pour déterminer  $Q_s$ , on calcule les spectres du signal ( $s$ ) et de la distorsion ( $s - r$ ) sur 256 échantillons de 32 ms et on les divise entre les bandes de fréquences appropriées. On calcule ensuite le rapport signal/distorsion segmental dans chaque bande.

### 3.2.2 Formules fondamentales

L'indice d'information  $I_I$  (en dB), défini en [24], est donné par la formule:

$$I_I = \sum_j B_j \times V_j \quad (3-3)$$

avec

$$V_j = \frac{3}{0,10 + 10^{-(Q_j + C_j)/10}} \quad (3-4)$$

$B_j$  est le poids attribué à la bande d'ordre  $j$ ;  $C_j = 10 \log_{10}(f_j/\Delta f_c)$ ,  $\Delta f_c$  étant la largeur de bande critique.

Le Tableau 3-2 donne les valeurs de  $B_j$  et de  $C_j$  pour les bandes utilisées dans l'exemple du 3.2.4; elles sont reproduites aux lignes 60 et 70 de I.1 et aux lignes 70 et 80 de I.2. Les lignes 180 à 370 donnent ces valeurs pour les fréquences préférées de l'ISO (espacées d'un tiers d'octave) de 0,1 à 8 kHz, dans les colonnes BJ et CJ.

TABLEAU 3-2  
Pondération en fréquence

| $j$ | Bandes d'égale netteté<br>Fréquences extrêmes (Hz) |      | $B_j \times 10^5$ | $C_j$ (dB) |
|-----|--|------|-------------------|------------|
| 1   | 200  | 330  | 5457              | 4.1        |
| 2   | 330  | 430  | 4733              | 5.6        |
| 3   | 430  | 560  | 6682              | 6.4        |
| 4   | 560  | 700  | 7497              | 6.9        |
| 5   | 700  | 840  | 6546              | 7.4        |
| 6   | 840  | 1000 | 6622              | 7.8        |
| 7   | 1000   | 1150 | 5585              | 8.0        |
| 8   | 1150   | 1310 | 5400              | 8.0        |
| 9   | 1310   | 1480 | 5273              | 8.2        |
| 10  | 1480   | 1660 | 5117              | 8.2        |
| 11  | 1660   | 1830 | 4517              | 8.2        |
| 12  | 1830   | 2020 | 4706              | 8.2        |
| 13  | 2020   | 2240 | 5073              | 8.2        |
| 14  | 2240   | 2500 | 5561              | 8.2        |
| 15  | 2500   | 2820 | 6310              | 8.2        |
| 16  | 2820   | 3200 | 6886              | 8.1        |
|     | TOTAL  |      | 102 158           |            |

### 3.2.3 Relations entre rapports signal/bruit dans le cas de la transmission numérique

Dans le cas d'un MNRU ou d'un MNRU masqué, d'après leur principe de fonctionnement  $Q_s = Q_j$  et l'on peut appliquer directement la formule (3-4) si l'on connaît  $Q_s$  dans chaque bande.

On applique aux codeurs numériques la loi d'équivalence des lignes 260 à 370 du I.2. Elle dépend d'un paramètre  $d = Q_{seg} - Q_p$ . Des calculs numériques ont montré que cette loi est valable à la fois pour la MIC ( $d = 0$ ) et pour la parole naturelle ( $d = -5,33$ ) [24]. L'exemple du 3.2.4. montre qu'elle donne des résultats cohérents pour divers types de codeurs.

### 3.2.4 Programmes et exemple d'application

I.1 et I.2 reproduisent les programmes utilisés.

Le Tableau 3-3 indique les valeurs mesurées des rapports signal/bruit définis ci-dessus pour des MNRU et pour des codeurs variés, ainsi que les valeurs d'indice d'information calculées d'après ces résultats et les notes moyennes d'opinion (MOS) à l'écoute déterminées au Laboratoire du CNET [26].

Le Tableau 3-4 montre la corrélation entre ces MOS et l'indice d'information (voir le Tableau 3-3) et avec d'autres mesures objectives de qualité de transmission qui ont été proposées.

## 3.3 Application à la transmission analogique

### 3.3.1 Considérations générales – Emploi du programme

On expliquera le calcul de l'indice d'information dans le cas de la transmission analogique, en se référant au programme reproduit comme appendice II. Celui-ci s'applique à une connexion comprenant deux postes téléphoniques du type NTT 600 (avec lignes d'abonné de 7 dB), un filtre SRAEN et un affaiblisseur réglable. Dans 3.4, on discute l'écriture du programme correspondant pour d'autres types de connexion.

On se sert du programme de la façon suivante:

- entrer RN, STMR,  $ICN_0$  définis aux lignes 30 à 60, taper «L», entrer OLR; lire IN = indice d'information (à l'écoute);
- si l'on a besoin de  $I_c^4$  (indice d'information en conversation), taper «C»; lire  $IN = I_c$ ;
- taper «T».

### 3.3.2 Données

Les lignes 170 à 370 du programme.

Les lignes 180 à 370 correspondent à des fréquences espacées d'un tiers d'octave, de 0,1 à 8 kHz.

#### 3.3.2.1 Données de base

Celles-ci ne dépendent pas du type de poste téléphonique employé.

- |    |   |
|----|---|
| BK | seuil d'audition pour des sons à spectre continu ( $L_s$ , voir [24]), rapporté au point de référence oreille;                              |
| S  | intensité spectrale (moyenne à long terme) de la parole au point de référence bouche; S + 0,4 dB correspond à un niveau vocal -4,7 dB/1 Pa; |
| BJ | pondération en fréquence (voir [24]);   |
| CJ | terme correctif dans la formule (3-4) qui donne $V_j$ .   |

#### 3.3.2.2 Caractéristiques électroacoustiques

Elles dépendent de la connexion considérée et sont définies dans l'Appendice III.1.2: il suffit ici de savoir que RLR (ES à la réception) = -3,9 dB.

NOTE – On n'a pas besoin (en principe) de SLR (à l'émission), mais on peut l'utiliser pour apporter une petite correction à OLR si l'on utilise un autre exemplaire du même type de poste téléphonique.

L'affaiblissement global OLA entre les points de référence bouche (MRP) et oreille (ERP), tel qu'il serait mesuré avec une oreille artificielle, a été calculé comme il est indiqué dans l'Appendice III.2.1.

4) Voir le Tableau 3-5.

TABLEAU 3-3

Exemple des valeurs mesurées de Q (dB) et calculées  $I_I$ 

| Système      | MOS<br>(0 à 4)                           | Dans toute la bande |           | $Q_s$ dans la bande n° |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | $I_I$<br>(dB) |      |      |       |      |
|--------------|--|---------------------|-----------|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------------|------|------|-------|------|
|              |  | $Q_P$               | $Q_{seg}$ | 1                      | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |               | 13   | 14   | 15    | 16   |
|              |  |                     |           |                        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |               |      |      |       |      |
| MNRU         | 15 dB                                    | 15                  | 14,9      | 20,1                   | 17,9 | 15,3 | 11,5 | 8,1  | 5,5  | 3,3  | 1,7  | 2,2  | 1,9  | 0,9  | 0,5  | 0,3           | 0,6  | 0,4  | €-0,6 | 17,1 |
|              | 20                                       | 20                  | 19,8      | 25,1                   | 23   | 20,3 | 16,6 | 13,2 | 10,6 | 8,3  | 6,8  | 7,2  | 6,9  | 5,9  | 5,4  | 5,3           | 5,6  | 5,4  | 4,4   | 22,5 |
|              | 25                                       | 25                  | 24,9      | 30,4                   | 28,5 | 25,6 | 21,3 | 17,5 | 15   | 12,6 | 10,8 | 11,4 | 11,1 | 10,1 | 9,6  | 9,5           | 9,8  | 9,4  | 8,2   | 25,2 |
|              | 30                                       | 30                  | 29,9      | 35,6                   | 33,5 | 30,4 | 26,2 | 22,2 | 19,6 | 17,3 | 15,5 | 16,1 | 15,9 | 14,9 | 14,4 | 14,2          | 14,6 | 14,2 | 13    | 26,7 |
| MNRUS        | 15                                       | 15,1                | 15,4      | 13,6                   | 13,8 | 13,1 | 10,8 | 8,8  | 7,7  | 6,6  | 6    | 7,7  | 8,2  | 7,9  | 8,2  | 8,7           | 9,7  | 10,1 | 9,7   | 22,8 |
|              | 20                                       | 20,1                | 20,4      | 18,6                   | 18,9 | 18,1 | 15,7 | 13,6 | 12,5 | 11,5 | 10,8 | 12,5 | 13,1 | 12,8 | 13   | 13,6          | 14,7 | 15   | 14,6  | 25,8 |
|              | 25                                       | 25,1                | 25,4      | 23,9                   | 24,2 | 23,2 | 20,8 | 18,6 | 17,3 | 16,4 | 15,7 | 17,3 | 17,9 | 17,7 | 17,9 | 18,4          | 19,4 | 19,8 | 19,1  | 27,0 |
|              | 30                                       | 30,1                | 30,4      | 29,1                   | 29,3 | 28,2 | 25,8 | 23,4 | 22,2 | 21,2 | 20,5 | 22,1 | 22,8 | 22,5 | 22,7 | 23,1          | 24,1 | 24,5 | 23,9  | 27,4 |
| F 16 kbit/s  |  | 14,2                | 11,4      | 15,2                   | 13,5 | 10,8 | 7,3  | 4,1  | 1,7  | -0,9 | -2,1 | -1,5 | -1,9 | -2,8 | -3,3 | -3,2          | -2,5 | -2,5 | -2,7  | 16,5 |
| 24           |  | 20                  | 17,7      | 21,7                   | 19,8 | 17,4 | 13,9 | 10,6 | 8,1  | 5,9  | 4,7  | 5    | 4,5  | 3,8  | 3,5  | 3,1           | 3,6  | 3,4  | 2,8   | 23,4 |
| 32           |  | 25,2                | 22,8      | 27,1                   | 25,4 | 22,6 | 19,2 | 16   | 13,7 | 11,4 | 10   | 10,3 | 9,8  | 9    | 8,6  | 8,4           | 8,8  | 8,5  | 7,9   | 26,0 |
| V 16 kbit/s  |  | 12,8                | 14,5      | 16,2                   | 14,2 | 11,9 | 8,6  | 6,1  | 4,2  | 2,5  | 1,9  | 2,6  | 2,2  | 2,1  | 2    | 2,4           | 2,8  | 2,9  | 2,8   | 24,1 |
| 24           |  | 19,7                | 21,8      | 25,1                   | 23,2 | 20,6 | 17   | 14,1 | 11,8 | 9,3  | 8,2  | 8,8  | 8,3  | 7,3  | 7,1  | 7             | 7,7  | 7,7  | 7,2   | 26,7 |
| 32           |  | 25,7                | 28,3      | 32,1                   | 30,1 | 27,6 | 24   | 20,5 | 18,3 | 15,6 | 14,4 | 14,8 | 14,3 | 13,3 | 13,1 | 12,8          | 13,3 | 13,2 | 12,3  | 27,4 |
| SB 24 kbit/s |  | 17,1                | 15        | 16,7                   | 14,7 | 13   | 16,7 | 15,3 | 13,4 | 12,9 | 14,8 | 14,9 | 12,4 | 11,7 | 11,3 | 11,3          | 11,6 | 7,4  | 6,3   | 26,2 |
| 32           |  | 20,4                | 19,4      | 22,1                   | 20   | 18,4 | 21,9 | 20,3 | 18,5 | 17,1 | 19,6 | 20   | 20,2 | 19,9 | 17,3 | 16,7          | 16,4 | 12,7 | 11,4  | 27,2 |
| MNRUS        | MNRU masqué                              |                     |           |                        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |               |      |      |       |      |
| F            | MICDA avec prédicteur fixe               |                     |           |                        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |               |      |      |       |      |
| V            | MICDA avec prédicteur variable           |                     |           |                        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |               |      |      |       |      |
| SB           | Codage en sous-bande ( <i>sub-band</i> ) |                     |           |                        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |               |      |      |       |      |

TABLEAU 3-4

## Corrélation entre la MOS et diverses mesures objectives de la qualité de transmission dans le cas d'une transmission numérique

| Mesure objective<br>(voir la Note) | Système  |       |  |       |                              |       |  |       |   |       |
|------------------------------------|--|-------|--|-------|------------------------------|-------|--|-------|---|-------|
|                                    | Groupe B<br>MIC, MIDA, MICDA-F   |       | Groupe A<br>même chose que B + CTA<br>APC – AB |       | Groupe F<br>MICDA-F, MICDA-V |       | Groupe E<br>même chose que<br>F + codage en sous-bande |       | Groupe D<br>même chose que<br>E + MNRU<br>MNRU masqué |       |
|                                    | R  | S     | R  | S     | R                            | S     | R  | S     | R   | S     |
| $Q_P$ (SNR)                        | 0,798  | 0,578 | 0,803  | 0,559 | 0,687                        | 0,680 | 0,590  | 0,711 | 0,650   |       |
| $Q_{seg}$ (segment SNR)            | 0,950  | 0,301 | 0,894  | 0,430 | 0,906                        | 0,396 | 0,725  | 0,606 | 0,720   |       |
| «Rapport probablement du type log» | 0,943  | 0,213 | 0,924  | 0,341 |                              |       |  |       |   |       |
| Distance cepstrale                 | 0,954  | 0,208 | 0,929  | 0,331 |                              |       |  |       |   |       |
| SNRF                               |  |       |  |       |                              |       |  |       | 0,884   |       |
| Indice d'information               |  |       |  |       | 0,992                        | 0,104 | 0,993  | 0,109 | 0,976   | 0,174 |
| SNRF                               | $Q_s$ fréquence pondérée   |       |  |       |                              |       |  |       |   |       |
| R                                  | Coefficient de corrélation   |       |  |       |                              |       |  |       |   |       |
| S                                  | Ecart type (par rapport à une MOS sur une échelle allant de 0 à 4 ou de 1 à 5) |       |  |       |                              |       |  |       |   |       |
| SNR                                | Rapport signal/bruit   |       |  |       |                              |       |  |       |   |       |
| NOTE                               | – Notations du Tableau 3-1.  |       |  |       |                              |       |  |       |   |       |

### 3.3.2.3 Composantes du bruit

On considère les composantes suivantes (qui dépendent de la connexion):

BDFE est le spectre du bruit de salle à l'extrémité éloignée transmis par le poste qui s'y trouve;

BDCN est le spectre du bruit de circuit;

BDST est le spectre du bruit de salle à l'extrémité proche transmis par la voie d'effet local;

BDEL est le spectre du bruit de salle à l'extrémité proche transmis par la fuite entre l'oreille et le pavillon de l'écouteur.

Les données des lignes 180 à 370, correspondant à une connexion type, sont:

FE est le BDFE calculé pour  $RN = 50$  dBA à l'extrémité éloignée et un équivalent pour la sonie global (OLR), selon la Recommandation P.79, de 5 dB;

CN est le BDCN calculé pour  $ICN_0 = -60$  dBmp;

ST est le BDST calculé pour  $RN = 50$  dBA et  $STMR = 15$  dB;

EL est le BDEL calculé pour  $RN = 50$  dBA.

Les calculs ont été effectués à partir des caractéristiques en fréquence des Tableaux 4-4, C-1 et D-1. Le spectre du bruit de circuit utilisé dans l'exemple de programme de l'Appendice II correspond à la dernière colonne du Tableau C.1 (voir III.1.1) et s'applique à presque tous les cas des Tableaux 3-5 et 3-6. Un spectre différent est utilisé pour le bruit blanc.

### 3.3.3 Calcul des rapports signal/bruit

#### 3.3.3.1 Niveau du signal

En premier lieu, l'OLR est corrigé s'il est inférieur à la valeur optimale (Appendice II, lignes 100 à 160). Cette valeur optimale est déterminée par un sous-programme (lignes 720 à 820) qui est semblable à celui utilisé pour les formules données dans l'Annexe A/P.11, mais qui a été adapté aux résultats des essais subjectifs d'opinion figurant en [28].

#### 3.3.3.2 Rapport signal/bruit (lignes 425 à 440)

On prend la somme des puissances des composantes du bruit et l'on obtient ainsi le rapport signal/bruit  $Z_n$ .

#### 3.3.3.3 Influence des seuils (lignes 450 à 480)

On calcule  $Z_a$  (voir le document cité en [24] article V.2) d'où l'on déduit le rapport signal/bruit équivalent  $Z_e$ . La résultante  $Z$  est obtenue par addition en puissance des bruits correspondant à  $Z_n$  et à  $Z_e$ .

#### 3.3.4 Indice d'information pour un niveau vocal constant $I_L$

L'équivalence entre  $Z$  et  $Q$  est déduite de la colonne «Japon» du Tableau 1 donné en [29], ensuite  $V$  est calculé à chaque fréquence (lignes 650 à 700) et l'on obtient IN à l'écoute (lignes 500 à 550).

#### 3.3.5 Indice d'information en conversation, $I_c$

En premier lieu (lignes 90 et 560 à 610), la puissance vocale est modifiée pour tenir compte de l'influence de l'effet local sur le locuteur, comme dans 2.7.

On ajoute une seconde correction (ligne 620), comme cela est expliqué en [24] article V.3. L'application du présent modèle à des postes téléphoniques de type 13-2P-27 en utilisant la loi d'équivalence mentionnée en 3.3.4 donne:

$$V_c - V_L = 9,87 - 0,4085 I_L$$

#### 3.3.6 Exemples

Le Tableau 3-5 indique les MOS déterminées subjectivement dans deux essais (un à l'écoute, l'autre en conversation) pour les mêmes conditions, selon [28], et les indices d'information calculés pour ces conditions.

Le Tableau 3-6 indique les MOS déterminées pour diverses conditions de bruit et les indices d'information à l'écoute correspondants.

Le Tableau 3-7 montre la corrélation qui existe entre la MOS et les valeurs d'indice d'information indiquées dans les Tableaux 3-5 et 3-6.

TABLEAU 3-5

**Indice d'information I pour postes téléphoniques NTT 600 (ligne de 7 dB) avec filtre SRAEN,  
STMR = 7,1 dB et notes d'opinion dans les essais 2 et 6**

| RN<br>(dBA) | ICN<br>(dBmp) | ICN <sub>0</sub><br>(dBmp)                   | OLR<br>(dB) | $Y_L$ | $I_L$<br>(dB) | $Y_C$ | $I_C$<br>(dB) |
|-------------|---------------|--|-------------|-------|---------------|-------|---------------|
| (1)         | (2)           | (3)  | (4)         | (5)   | (6)           | (7)   | (8)           |
| 60          | -62,1         | -58,2<br>(bruit de<br>commande<br>seulement) | 1,4         | 3,13  | 22,37         | 2,94  | 22,2          |
|             |               |  | 11,4        | 2,5   | 21,26         | 2,34  | 21,11         |
|             |               |  | 21,4        | 2,31  | 17,32         | 1,58  | 17,87         |
|             |               |  | 31,4        | 0,65  | 8,16          | 0,2   | 13,64         |
| 60          | -59,8         | -55,9  | 1,4         | 3,1   | 22,36         |       |               |
|             |               |  | 11,4        | 2,91  | 21,15         |       |               |
|             |               |  | 21,4        | 1,75  | 16,92         |       |               |
|             |               |  | 31,4        | 0,8   | 7,37          |       |               |
| 60          | -55,8         | -51,9  | 1,4         | 2,83  | 22,38         | 2,99  | 23,2          |
|             |               |  | 11,4        | 2,75  | 20,97         | 2,39  | 20,83         |
|             |               |  | 21,4        | 1,79  | 16,34         | 1,28  | 17,24         |
|             |               |  | 31,4        | 0,5   | 6,51          | 0,43  | 12,4          |
| 60          | -51,4         | -47,5  | 1,4         | 3,06  | 22,37         | 3,08  | 22,17         |
|             |               |  | 11,4        | 2,24  | 20,53         | 2,17  | 20,42         |
|             |               |  | 21,4        | 1,05  | 14,97         | 1,29  | 16,41         |
|             |               |  | 31,4        | 0,09  | 5,17          | 0,22  | 11,11         |
| 60          | -45,6         | -41,7  | 1,4         | 2,31  | 22,18         | 2,63  | 21,95         |
|             |               |  | 11,4        | 1,4   | 19,22         | 1,73  | 19,34         |
|             |               |  | 21,4        | 0,64  | 11,66         | 0,77  | 14,77         |
|             |               |  | 31,4        | 0,05  | 3,15          | 0,13  | 8,55          |

Signification des valeurs figurant dans les colonnes

- (1) Bruit de salle, dBA
- (2) Bruit de circuit à l'entrée du système récepteur, dBmp
- (3)  $ICN_0 = ICN + 3,9$  dB
- (4) Equivalent pour la sonie global (voir la Recommandation P.79)
- (5) Note moyenne d'opinion à l'écoute (sur une échelle de 0 à 4), essai 2 de [28], page 4-4
- (6) Indice d'information à l'écoute (position L de l'Appendice II)
- (7) MOS en conversation, essai 6 de [28], pages 4-9
- (8) Indice d'information en conversation (position C de l'Appendice II)

TABLEAU 3-6

**Indice d'information ( $I_L$ ) à l'écoute pour des postes téléphoniques NTT 600 (ligne de 7 dB)  
avec filtre SRAEN, STMR = 7,1 dB et notes d'opinion à l'écoute dans l'essai 4**

| RN<br>(dBA)  | ICN<br>(dBmp) | ICN <sub>0</sub><br>(dBmp) | OLR<br>(dB) | $Y_L$ | $I_L$<br>(dB) |
|--|---------------|----------------------------|-------------|-------|---------------|
| 0  | (Note 1)      | -100<br><br>(Note 1)       | -3,6        | 2,30  | 21,05         |
|  |               |                            | 1,4         | 2,83  | 21,86         |
|  |               |                            | 6,4         | 3,26  | 22,51         |
|  |               |                            | 11,4        | 2,92  | 22,16         |
|  |               |                            | 16,4        | 2,59  | 21,43         |
|  |               |                            | 21,4        | 2,12  | 20,48         |
|  |               |                            | 26,4        | 1,89  | 19,24         |
|  |               |                            | 31,4        | 1,23  | 17,07         |
| 60   | -55,8         | -51,9                      | -3,6        | 2,61  | 21,35         |
|  |               |                            | 1,4         | 2,94  | 22,38         |
|  |               |                            | 6,4         | 3,00  | 22,15         |
|  |               |                            | 11,4        | 2,38  | 20,97         |
|  |               |                            | 16,4        | 1,80  | 19,09         |
|  |               |                            | 21,4        | 1,41  | 16,34         |
|  |               |                            | 26,4        | 0,91  | 11,95         |
|  |               |                            | 31,4        | 0,44  | 6,51          |
| 60   | -56,9         | -53<br>(Note 2)            | 1,4         | 3,20  | 22,39         |
|  |               |                            | 11,4        | 2,53  | 21,06         |
|  |               |                            | 21,4        | 1,24  | 16,62         |
|  |               |                            | 31,4        | 0,24  | 6,77          |
| 50   | -55,8         | -51,9                      | 1,4         | 3,21  | 22,67         |
|  |               |                            | 11,4        | 2,64  | 21,7          |
|  |               |                            | 21,4        | 1,58  | 18,48         |
|  |               |                            | 31,4        | 0,35  | 11,16         |
| 45   | -64,9         | -61                        | 1,4         | 3,23  | 22,52         |
|  |               |                            | 13,4        | 2,62  | 21,77         |
| NOTES  |               |                            |             |       |               |
| 1 En pareils cas, il n'y avait pas de bruit de circuit au cours des essais d'opinion, mais un bruit correspondant à ICN = 76,9 (ICN <sub>0</sub> = -73) est utilisé dans le modèle OPINE. Pour l'évaluation de l'indice d'information, on peut utiliser une valeur de bruit arbitraire et très faible. |               |                            |             |       |               |
| 2 Bruit blanc.   |               |                            |             |       |               |



TABLEAU 3-7

Corrélation entre la MOS et l'indice d'information dans le cas d'une transmission analogique<sup>a)</sup>

| Type de connexion             | Gamme de conditions (Note) |                         |              | Type de MOS    | Modèle | Coefficient de corrélation | Ecart par rapport à Y |                |
|-------------------------------|----------------------------|-------------------------|--------------|----------------|--------|----------------------------|-----------------------|----------------|
|                               | RN (dBA)                   | ICN <sub>0</sub> (dBmp) | OLR (dB)     |                |        |                            | Erreur type           | Ecart extrêmes |
| Postes NTT 600 + filtre SRAEN | 0 à 60                     | -∞ et<br>-61 à -51,9    | -3,6 à +31,4 | Y <sub>L</sub> | I      | 0,985                      | 0,11                  | -0,27 + 0,22   |
|                               |                            |                         |              |                | O      |                            | 0,17                  | -0,37 + 0,32   |
|                               | 60                         |                         |              | Y <sub>C</sub> | I      | 0,977                      | 0,16                  | 0,31 + 0,32    |
|                               |                            |                         |              |                | O      |                            | 0,20                  | -0,38 + 0,36   |

a) Ce tableau remplace le Tableau VI de la référence [24].  
I Indice d'information  
O Modèle OPINE  
NOTE – Les notations sont celles de l'Appendice II.

## 3.4 Possibilités d'extension

### 3.4.1 Caractéristiques en fréquence

L'Appendice II donne un exemple qui est expliqué dans 3.3 ci-dessus. Si l'on emploie d'autres types de postes, de réseaux d'équilibrage, de lignes d'abonné ou de filtres en ligne, il faut modifier en conséquence les données correspondantes dans l'appendice II et recalculer les données relatives aux bruits. Cette méthode est exposée dans l'Appendice III.

On doit recalculer OLR et STMR, pris comme variables indépendantes, conformément à la Recommandation P.79.

### 3.4.2 Connexions comprenant des processus numériques

Le paragraphe 3.2 ci-dessus et l'Appendice I s'appliquent à des cas où la parole est au voisinage de son niveau optimal, en vue de comparer divers codeurs dans de telles conditions. Si les codeurs produisent une mutilation appréciable, on doit calculer la perte d'information due à cet effet et déterminer la valeur correspondante de  $Q$  comme il est expliqué en [24].

De toute façon, quand une connexion dans un réseau téléphonique comprend des processus numériques, on doit déterminer les valeurs correspondantes de  $Q_m$  dans chaque bande de fréquences et les composer avec la valeur de  $Q$  dans l'Appendice II, par addition des puissances des bruits et des distorsions.

## 4 Modèle d'indice de qualité globale pour l'évaluation de la qualité d'un réseau (OPINE) (Contribution de NTT)

### 4.1 Introduction

La NTT a étudié un modèle objectif permettant d'évaluer la qualité de la transmission téléphonique [30], [31], [32], [33]. L'article 4 décrit le modèle appelé OPINE (modèle d'indice de qualité globale pour l'évaluation de la qualité d'un réseau) (*overall performance index model for network evaluation*), notamment son utilisation pratique.

L'OPINE tient compte de l'affaiblissement de transmission, du bruit de circuit, du bruit de salle, de la distorsion d'affaiblissement en fonction de la fréquence (facteurs fondamentaux), de la distorsion de quantification, de l'écho pour la personne qui parle et de l'effet local. Il représente sous forme de modèle le processus psycho-auditif de l'évaluation de la qualité de transmission téléphonique par des êtres humains sur la base de ces facteurs. Il correspond donc au deuxième type de modèle de la classification de l'article 2 (British Telecom). Le principe de base du modèle est que l'évaluation des facteurs psychologiques (et non des facteurs physiques) dans l'échelle psychologique est additive. Après la première révision, le modèle a été développé pour tenir compte de facteurs physiques additionnels.

En 1983 [30], le modèle OPINE a tout d'abord été élaboré pour des facteurs fondamentaux. Les données utilisées dans l'essai d'opinion pour l'établissement et la vérification de coefficients dépendaient largement des résultats de l'expérience menée chez NTT ECL, à Musashino en 1975. L'objectif principal était d'étudier la note d'opinion en tant que mesure de la qualité de la parole, et en tant que norme de transmission téléphonique. La référence [31] décrit les données brutes. Il s'agissait d'une expérience de grande envergure qui tenait compte de divers facteurs et utilisait un poste téléphonique du type NTT 600.

En 1985, des essais d'opinion ont été effectués pour la distorsion de quantification. Une version plus récente du modèle qui traitait également de la distorsion de quantification a été établie et vérifiée [32].

D'autres essais d'opinion portant sur l'écho pour la personne qui parle et l'effet local ont été menés parallèlement [35], [36]. Une étude des caractéristiques d'évaluation de l'écho pour la personne qui parle et de son interaction avec la sonie a eu lieu ultérieurement.

En 1986, la révision 2.0 de l'OPINE a été effectuée et tous les paramètres ont été réécrits en fonction de l'équivalent pour la sonie ( $L_R$ ). Cette révision a été améliorée et mise à jour sous le numéro 2.1. Les points qui ont été améliorés dans la révision 2.1 sont les suivants (ce sont des changements mineurs):

- $\Delta f$  a été corrigé pour être compatible avec celui de la Recommandation P.79.
- Dans la révision 2.0, une imperfection sans gravité du programme Fortran a été éliminée.

Lors de l'étude de la configuration du modèle, on s'est également penché [36] sur les caractéristiques psychologiques de l'évaluation subjective, en utilisant comme variables l'affaiblissement de transmission et le bruit de circuit. Les principales conclusions ont été les suivantes:

- La note d'opinion donne une bonne reproductibilité si la conception expérimentale, le type de sujet et les autres conditions restent constants.
- La gamme des conditions d'essai influence considérablement la note d'opinion. La gamme des conditions relatives à l'affaiblissement influence particulièrement la note d'opinion absolue.

Malgré les conclusions ci-dessus, il faut définir à des fins pratiques ce qu'est une évaluation absolue pour un état de réseau donné.

C'est pourquoi, nous spécifions deux catégories d'essais d'opinion:

- une catégorie 1 dans laquelle la note reflète la valeur moyenne de l'évaluation du réseau pour des abonnés téléphoniques en général;
- une catégorie 2 qui donne une note relative qui est cependant sensible à un petit nombre de facteurs physiques donnés.

Dans l'essai de la catégorie 1, l'objectif est d'obtenir une note d'opinion absolue. C'est pourquoi, la gamme des conditions d'essai doit être similaire à celle qui est utilisée pour évaluer les dégradations dans les réseaux commerciaux actuels. En outre, plus les facteurs entrant en ligne de compte dans un essai d'opinion sont nombreux, et plus la note se rapproche d'une valeur absolue. Le nombre de sujets doit dépasser 60. L'essai de la catégorie 2 sert à étudier l'interaction entre plusieurs facteurs; il est plus pratique mais la note obtenue n'est pas absolue. Il est souhaitable que le métier du sujet soit lié au problème de la qualité de la parole.

Lors de l'établissement de l'OPINE en 1975, nous avons classé la base de données subjectives dans la première catégorie et les autres données dans la deuxième catégorie.

Les données subjectives recueillies après 1983 ont servi principalement à la vérification qualitative des caractéristiques additives d'évaluation compte tenu d'une échelle psychologique des différents facteurs.

Lors de l'extension de l'OPINE, on a modifié les coefficients de nouveaux facteurs afin qu'ils s'adaptent aux résultats de la note absolue de l'essai de la catégorie 1 effectué en 1975.

## 4.2 Présentation du modèle

Sur la base d'études précédentes, cinq facteurs psychologiques touchant à la qualité de la parole téléphonique ont été retenus:

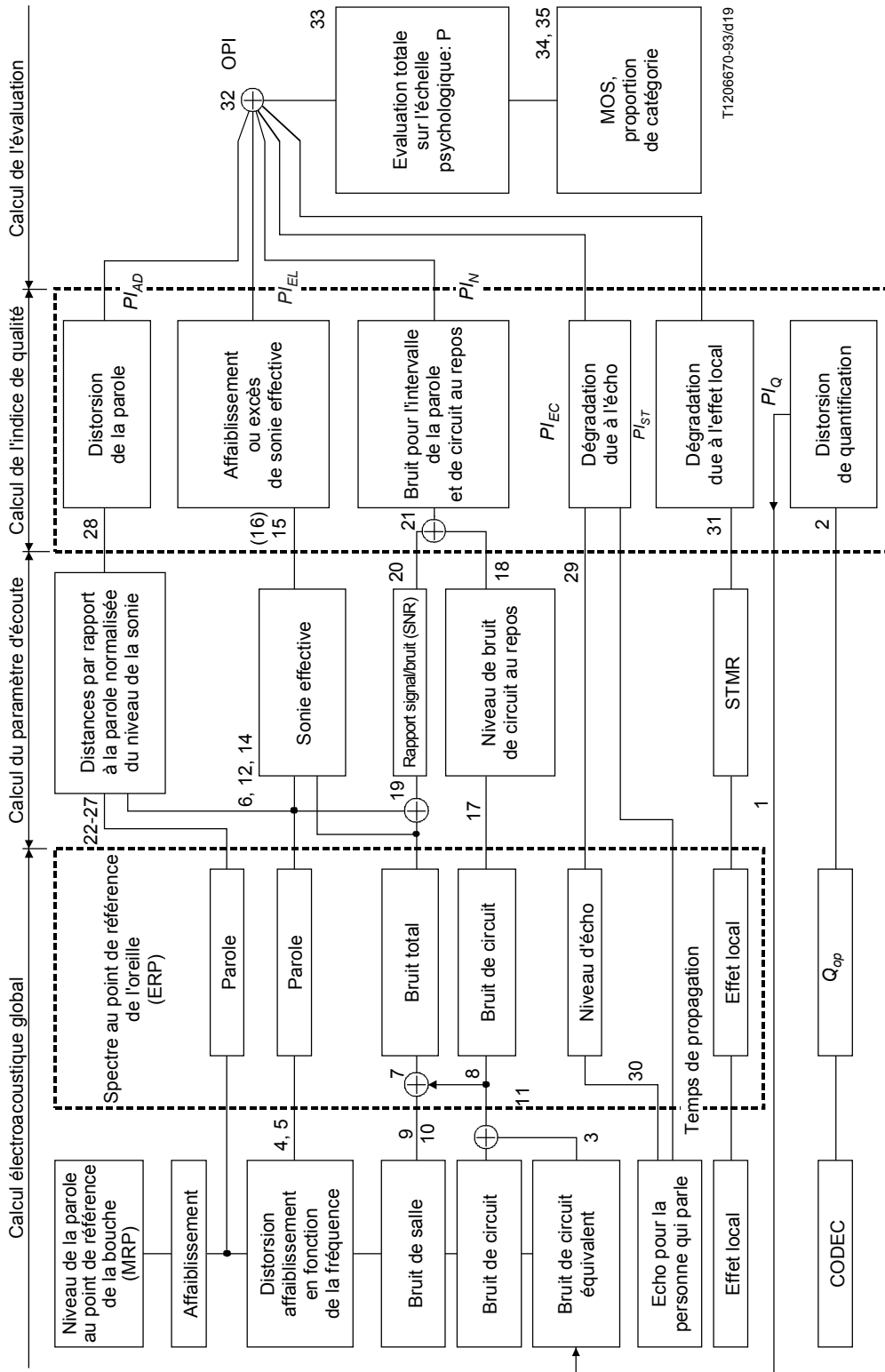
- 1) distorsion de la parole pour la distorsion d'affaiblissement en fonction de la fréquence;
- 2) affaiblissement ou excès de sonie effective pendant la conversation;
- 3) bruit pendant les intervalles de conversation et les intervalles de non-conversation;
- 4) dégradation causée par l'écho pour la personne qui parle;
- 5) dégradation causée par l'effet local.

Pour chacun des facteurs ci-dessus, on a également introduit un indice de qualité (PI) (*performance index*) qui indique le degré de dégradation psychologique. La MOS est estimée à partir de l'indice de qualité globale (OPI) (*overall performance index*) que l'on obtient en additionnant tous les PI.

Pour calculer le PI de chaque facteur, on obtient des facteurs physiques pour la sonie, la distorsion, etc. et chaque PI est transformé à l'aide d'une fonction appropriée. Ces fonctions sont déterminées de façon heuristique et les constantes nécessaires sont estimées à partir de données subjectives. Ces constantes traduisent le degré d'influence de chaque facteur sur l'évaluation. Le diagramme de bloc conceptuel l'OPINE est indiqué sur la Figure 4-1. Le modèle comporte quatre parties:

- 1) calcul global électroacoustique;
- 2) obtention de paramètres d'audibilité;
- 3) obtention d'un indice de qualité; et
- 4) obtention d'évaluation.

Les chiffres marqués sur la Figure 4-1 renvoient aux numéros (deuxième chiffre du numéro) des équations indiquées dans 4.3.



MRP Point de référence de la bouche (*mouth reference point*)  
 ERP Point de référence de l'oreille (*ear reference point*)  
 $Q_{op}$  Rapport parole bruit corrélé à la parole équivalent pour l'opinion (*opinion equivalent speech to speech correlated noise ratio*)

NOTE – Les numéros indiqués sur la figure, correspondent à ceux des équations du 4.3.

FIGURE 4-1  
 Schéma simplifié du modèle OPINE

### 4.3 Configuration de l'OPINE

Tous les symboles sont classés en 5 types:

- Type [A]: Paramètres de modèles
- Type [A-1]: Constantes ou coefficients adoptés d'après des normes
- Type [A-2]: Constantes ou coefficients adoptés pour l'OPINE d'après les résultats d'autres études
- Type [A-3]: Coefficients estimés d'après les résultats d'essais subjectifs de NTT
- Type [B]: Variables d'entrée faisant l'objet d'une description dans 4.3
- Type [C]: Sorties intermédiaires de l'OPINE faisant l'objet d'une description dans 4.3.

Les variables d'entrée du modèle et les valeurs de paramètres du modèle sont énumérées dans 4.4. Dans les équations ci-après,  $C_j$  ( $j = 1,13$ ) représente les constantes (type [A-3]). Le suffixe  $i$  correspond au numéro de la bande de fréquences d'un tiers d'octave. Les relations entre les variables correspondant à chaque section sont indiquées sur les Figures 4-3 à 4-10. La définition des symboles graphiques utilisés dans ces figures est indiquée sur la Figure 4-2.

#### 4.3.1 Calcul électroacoustique global

##### 4.3.1.1 Niveau subjectif équivalent en bruit blanc de la distortion de quantification

Le modèle donne une évaluation subjective caractéristique du CODEC sous la forme d'un rapport signal vocal subjectif équivalent/bruit corrélé à la parole ( $Q_{op}$ ). On obtient le niveau équivalent en bruit blanc en utilisant les résultats de l'essai d'opinion subjectif pour la référence de bruit modulé (MNR). Si le  $Q_{op}$  d'un certain CODEC ou sa connexion en cascade est connu, il est possible d'utiliser la valeur en tant qu'entrée. Les divers CODECS et  $Q_{op}$  adoptés ici sont indiqués dans le Tableau 4-1.

$$PI_Q = -0,0000218 Q_{op}^3 + 0,00489 Q_{op}^2 - 0,283 Q_{op} + 4,915 \quad (4-1)$$

$$V_{Wop} = -2,022 PI_Q^3 - 7,51 PI_Q^2 + 21,9 PI_Q - 76,9 - (OLR - 6,4) - (RLR + 3,8) \quad (4-2)$$

$$V_{CQ} = V_C (+) V_{Wop} \quad (4-3)$$

TABLEAU 4-1

Valeurs de  $Q_{op}$  pour MIC et MICDA<sub>v</sub>

| Système de transmission | $Q_{op}$ |
|-------------------------|----------|
| MIC $\mu$ -255, 8 bit   | 36.0     |
| 7                       | 32.8     |
| 6                       | 27.7     |
| 5                       | 22.5     |
| 4                       | 16.7     |
| MICDA <sub>v</sub>      | 29.2     |

où:

- (+) représente l'opération de somme de puissances.

### Type [B] symboles

- $Q_{op}$  est l'équivalent en note d'opinion du rapport parole sur bruit corrélé à la parole (dB);  
 $V_C$  est le niveau du bruit de circuit à l'entrée du circuit téléphonique de réception (dBmp);  
 $OLR$  est l'équivalent global pour la sonie du système téléphonique considéré (dB);  
 $RLR$  est l'équivalent pour la sonie à la réception du système téléphonique considéré (dB).

### Type [C] symboles

- $V_{Wop}$  est le niveau subjectif de bruit blanc équivalent (IQ) à l'entrée du circuit téléphonique local de réception (dBmp);  
 $PI_Q$  est l'IQ pour la distorsion de quantification;  
 $V_{CQ}$  est le niveau du bruit de circuit équivalent lorsqu'il y a simultanément un bruit de circuit et une distorsion de quantification (dBmp).

NOTE – Lorsque le système numérique n'est pas considéré comme étant dans des conditions d'essai, les équations (4-1) et (4-2) ne sont pas nécessaires et l'on attribue à  $V_{Wop}$  un faible niveau arbitraire tel que -100 dB dans l'équation (4-3).

#### 4.3.1.2 Niveau de la parole et niveau de bruit total au point de référence oreille (ERP) (voir aussi l'annexe C)

$$S_i = B_{Si} - L_{MEi} + 10 \log_{10} \Delta f_i \quad (4-4)$$

$$S_{Pi} = B_{Pi} - L_{MEi} \quad (4-5)$$

$$X_i = B_{0i} - K_i \quad (4-6)$$

$$N_i = N_{CQi} (+) N_{RNSTi} (+) N_{RNEi} + 10 \log_{10} \Delta f_i \quad (4-7)$$

$$N_{CQi} = V_{CQi} + S_{JEi} \quad (4-8)$$

$$N_{RNSTi} = B_{RNi} + L_{RNSTi} \quad (4-9)$$

$$N_{RNEi} = B_{RNi} + L_{RNEi} \quad (4-10)$$

$$N'_{CQi} = N_{CQi} + 10 \log_{10} \Delta f_i \quad (4-11)$$

où:

- (+) est la somme de puissances.

### Type [A-1] symboles

- $B_{Si}$  est la densité spectrale des signaux vocaux rapportée au point de référence bouche (MRP) (en dB par rapport à 20  $\mu$ Pa/Hz);  
 $\Delta f_i$  est la largeur de bande de fréquences d'un tiers d'octave préférée de l'ISO (Hz).

### Type [A-2] symboles

- $B_{Pi}$  est le niveau du spectre maximal de la parole au MRP (en dB par rapport à 20  $\mu$ Pa/Hz);  
 $X_i$  est le seuil de perception d'un son continu par rapport au ERP (en dB par rapport à 20  $\mu$ Pa/Hz);  
 $B_{0i}$  est le seuil de perception d'une tonalité pure (en dB par rapport à 20  $\mu$ Pa/Hz);  
 $K_i$  est la largeur de bande critique (dB);  
 $L_{RNEi}$  est l'affaiblissement de transmission dû à une perte acoustique au ERP de la personne qui écoute (dB).

## Type [B] symboles

- $L_{MEi}$  est l'affaiblissement global de bouche à oreille (dB);
- $S_{JEi}$  est l'efficacité à la réception d'un circuit téléphonique local entre l'entrée électrique et le ERP (en dB par rapport à Pa/V);
- $B_{RNi}$  est la densité du spectre du bruit de salle (en dB par rapport à 20  $\mu$ Pa/Hz).  
L'évaluation pondérée par A de  $B_{RNi}$  devient  $R_N$  (dBA);
- $L_{RNSTi}$  est l'affaiblissement de transmission dû à l'effet local entre un MRP et un ERP (dB);
- $V_{CQi}$  est le niveau de bruit de circuit équivalent lorsqu'il y a simultanément un bruit de circuit et une distorsion de quantification (dBV/Hz).  
L'évaluation pondérée psophométrique de  $V_{CQi}$  devient  $V_{CQ}$ .

## Type [C] symboles

- $S_i$  est le niveau du spectre de bande du son vocal au ERP (en dB par rapport à 20  $\mu$ Pa);
- $S_{Pi}$  est le niveau maximal du spectre du son vocal au ERP (en dB par rapport à 20  $\mu$ Pa/Hz);
- $N_i$  est le niveau de bruit de bande total au ERP (en dB par rapport à 20  $\mu$ Pa);
- $N_{CQi}$  est le niveau de bruit causé par un bruit de circuit stationnaire et une distorsion de quantification au ERP (en dB par rapport à 20  $\mu$ Pa/Hz);
- $N'_{CQi}$  est le niveau de bande de  $N_{CQi}$  (en dB par rapport à 20  $\mu$ Pa);
- $N_{RNSTi}$  est le niveau de l'effet local causé par un bruit de salle au ERP (en dB par rapport à 20  $\mu$ Pa/Hz);
- $N_{RNEi}$  est le niveau de bruit de salle perçu par l'intermédiaire d'une fuite de l'écouteur (en dB par rapport à 20  $\mu$ Pa/Hz).

### 4.3.2 Calcul des paramètres d'écoute et de l'indice de qualité (PI)

#### 4.3.2.1 $PI_{EL}$ (PI en présence d'affaiblissement ou d'excès de sonie effective)

$$\lambda_E = C \sum_{i=1}^M 10^{\frac{-m(L_{MEi} + b_n)}{10}} G_i \Delta f_i \quad (\text{tirée de la Recommandation P.79}) \quad (4-12)$$

$$b_n = 44,38 \exp(-0,0869 e_n) \quad (4-13)$$

$$e_n = [S_{Pi} - \{X_i(+)(N_i - 10 \log_{10} \Delta f_i)\}]_{\max} \quad (4-14)$$

$$PI_{EL} = \sqrt{\frac{C_2}{C_1} \left(10 \log_{10} \frac{\lambda_E}{\lambda_0}\right)^2 + C_2} - \sqrt{C_2} \quad (4-15)$$

où

max est un suffixe désignant la valeur maximale dans les bandes passantes.

## Type [A-1] symboles

- $G_i$  est le rapport de la sonie pour la bande de fréquences  $i$  dans un système sans affaiblissement par la sonie totale (fonction de la sonie);
- $\Delta f_i$  est la largeur de la  $i^{\text{ème}}$  bande de fréquences (Hz);
- $m$  est le coefficient exponentiel de l'oreille (= 0,175);
- $M$  est le nombre de bandes subdivisées (= 19).

### Type [A-3] symboles

- $\lambda_0$  est la sonie optimale au point de référence oreille (ERP);  
 $C$  est la constante. La valeur de  $C$  n'est pas nécessaire puisque  $C$  a été supprimé dans l'équation (4-15).

### Type [B] symbole

- $L_{MEi}$  est la caractéristique de la fréquence d'affaiblissement de transmission du point de référence de la bouche (MRP) au point de référence oreille (ERP) (dB).

### Type [C] symboles

- $PI_{EL}$  est l'indice de qualité en fonction de la sonie en l'absence ou en présence de bruit;  
 $\lambda_E$  est la sonie réelle au point de référence oreille, compte tenu de l'effet du bruit;  
 $b_n$  est l'affaiblissement équivalent pour la sonie en présence de bruit (dB);  
 $e_n$  est le niveau de crête de sensation maximal de la parole (dB).

#### 4.3.2.2 Expression de $PI_{EL}$ en fonction de l'équivalent pour la sonie (LR)

L'équation (4-15) s'exprime théoriquement en fonction de l'équivalent pour la sonie. Le calcul de l'équation (4-16) à partir de l'équation (4-15) est représenté à l'Annexe E.

$$PI_{EL} = \sqrt{\frac{C_2}{C_1} m^2 (OLR + b_n - OLR_0)^2 + C_2 - \sqrt{C_2}} \quad (4-16)$$

où:

### Type [A-3] symbole

- $OLR_0$  est la valeur de l'équivalent global pour la sonie à laquelle le système téléphonique fournit la sonie optimale (dB).

### Type [B] symbole

- $OLR$  est l'équivalent global pour la sonie du système téléphonique considéré (dB).

#### 4.3.2.3 $PI_N$ ( $PI$ en présence de bruit)

$$N'_i = \begin{cases} N'_{CQi} - N_{th} & \text{quand } N'_{CQi} \geq N_{th} \\ 0 & \text{quand } N'_{CQi} < N_{th} \end{cases} \quad (4-17)$$

$$PI_{IN} = C_3 \sum_{i=1}^M \left\{ 10^{\frac{A_i}{10}} \left( 10^{\frac{nN'_i}{10}} - 1 \right) \right\} \quad (4-18)$$

### Type [A-1] symbole

- $A_i$  est la pondération de la caractéristique A à la bande de fréquences  $i$  (dB).

### Type [A-3] symboles

- $N_{th}$  est le seuil de bruit (dB par rapport à 20  $\mu$ Pa);  
 $n$  est l'exposant.

### Type [B] symbole

- $N'_{CQi}$  (voir 4.3.1.2).

### Type [C] symboles

- $PI_{IN}$  est le PI en présence de bruit sur le circuit au repos (intervalle sans signaux vocaux);  
 $N'_i$  est le niveau supérieur au seuil de bruit (dB).



$$SNR = 10 \log_{10} \left( \frac{\sum_{i=1}^M 10 \frac{S_i}{10}}{\sum_{i=1}^M 10 \frac{N_i}{10}} \right) \quad (4-19)$$

$$PI_{SN} = \begin{cases} C_4(SNR - SNR_{th}) & \text{quand } SNR \leq SNR_{th} \\ 0 & \text{quand } SNR > SNR_{th} \end{cases} \quad (4-20)$$

$$PI_N = PI_{IN} + PI_{SN} \quad (4-21)$$

où

#### Type [A-3] symbole

$SNR_{th}$  est le seuil au-dessous duquel le rapport signal/bruit n'a pas de répercussions sur l'évaluation (dB).

#### Type [B] symboles

$S_i$  (voir 4.3.1.2)

$N_i$  (voir 4.3.1.2).

#### Type [C] symboles

$PI_{SN}$  est le  $PI$  en cas de bruit dans l'intervalle de la parole;

$SNR$  est le rapport signal/bruit au point de référence oreille (dB).

#### 4.3.2.4 $PI_{AD}$ ( $PI$ en présence de distorsion d'affaiblissement en fonction de la fréquence)

$$D_1 = \sqrt{\frac{1}{M_s} \sum_{i=1}^{M_s} \Lambda_i^2} \quad (4-22)$$

$$D_u = \sqrt{\frac{1}{M - M_s} \sum_{i=M_s+1}^M \Lambda_i^2} \quad (4-23)$$

$$\Lambda_i = \begin{cases} \Lambda_{li} - \Lambda_{di} & \text{quand } \Lambda_{li} - \Lambda_{di} \leq \Lambda_{th} \\ \Lambda_{th} & \text{quand } \Lambda_i > \Lambda_{th} \end{cases} \quad (4-24)$$

$$\Lambda_{li} = g_i(S_i + d_i) \quad (4-25)$$

$$\Lambda_{di} = g_i(S_i) \quad (4-26)$$

$$g_i(x_i) = \begin{cases} a_i + b_i x_i + c_i x_i^2 & \text{quand } a_i + b_i x_i + c_i x_i^2 \geq L_{th} \\ L_{th} & \text{quand } a_i + b_i x_i + c_i x_i^2 < L_{th} \end{cases} \quad (4-27)$$

$$PI_{BL} = C_5 D_1 + C_6 D_u \quad (4-28)$$

où

$g_i$  est la fonction de conversion du spectre de puissance vocale en un niveau de sonie par une courbe isotonique (d'après [38]);

$x_i$  est le niveau arbitraire de la parole dans la bande (dB par rapport à 20  $\mu$ Pa).

### Type [A-1] symboles

- $M$  est le nombre de bandes subdivisées (= 19);  
 $a_i, b_i, c_i$  sont les paramètres permettant de convertir le niveau de la sonie en phones; ces paramètres dépendent de la fréquence.

### Type [A-2] symbole

- $M_s$  est le numéro de la bande contenant 1 kHz (= 11).

### Type [A-3] symboles

- $L_{th}$  est le seuil de sonie (phones);  
 $\Lambda_{th}$  est le seuil de  $\Lambda_i$  (phones).

### Type [B] symbole

- $d_i$  est l'affaiblissement relatif dû à la distorsion d'affaiblissement en fonction de la fréquence entre circuits (dB).

Cet affaiblissement est de 0 dB à 800 Hz.  $S + d$  représente le niveau fictif de la parole dans la bande au point de référence oreille en l'absence de distorsion d'affaiblissement en fonction de la fréquence (parole de référence).

### Type [C] symboles

- $\Lambda_i$  est la différence entre la parole de référence et la parole avec distorsion (phones);  
 $\Lambda_l$  est le niveau de la sonie converti à partir de la parole de référence (phones);  
 $\Lambda_d$  est le niveau de la sonie converti à partir de la parole avec à la fois un affaiblissement et une limitation de bande (phones);  
 $D_u$  est la distance entre  $\Lambda_l$  et  $\Lambda_d$  supérieure à 1 kHz;  
 $D_l$  est la distance entre  $\Lambda_l$  et  $\Lambda_d$  inférieure à 1 kHz;  
 $PI_{AD}$  est le  $PI$  en présence d'une distorsion d'affaiblissement en fonction de la fréquence.

#### 4.3.2.5 $PI_{EC}$ ( $PI$ en présence d'écho pour la personne qui parle)

$$PI_{EC} = \sqrt{\frac{C_8}{C_7} (-E + E_0)^2 + C_8} + \sqrt{\frac{C_8}{C_7} (-E + E_0)} \quad (4-29)$$

$$E_0 \begin{cases} C_9 \log_{10} D + C_{10} & \text{quand } 0 < D < 60 \\ C_{11} \log_{10} D + C_{12} & \text{quand } D \geq 60 \end{cases} \quad (4-30)$$

où

### Type [B] symboles

- $E$  est l'équivalent pour la sonie de l'écho pour la personne qui parle (dB);  
 $D$  est le temps de propagation de l'écho pour la personne qui parle (ms).

### Type [C] symboles

- $PI_{EC}$  est l'indice de qualité en présence d'écho pour la personne qui parle;  
 $E_0$  est l'équivalent pour la sonie critique de l'écho pour la personne qui parle (dB).

#### 4.3.2.6 $PI_{ST}$ ( $PI$ en présence d'effet local)

$$PI_{ST} = \sqrt{\frac{C_{13}}{C_7} (-St + St_0)^2 + C_{13}} + \sqrt{\frac{C_{13}}{C_7} (-St + St_0)} \quad (4-31)$$

où:

##### Type [A-3] symbole

$St_0$  est l'affaiblissement d'effet local par la méthode de masquage (STMR) critique (dB).

##### Type [B] symbole

$St$  est le STMR (affaiblissement d'effet local par la méthode de masquage) (dB).

##### Type [C] symbole

$PI_{ST}$  est l'indice de qualité en présence d'effet local.

#### 4.3.3 Calcul de l'évaluation (voir aussi Annexe D)

$$OPI = PI_{EL} + PI_N + PI_{AD} + PI_{EC} + PI_{ST} \quad (4-32)$$

$$P = P_0 - OPI \quad (4-33)$$

où

##### Type [A-3] symbole

$P_0$  est  $P$  sans dégradation.

##### Type [C] symboles

$OPI$  est l'indice de qualité global;

$P$  est l'évaluation globale moyenne sur l'échelle psychologique.

$$MOS = \sum_{k=0}^4 k p_k \quad (4-34)$$

ou dans la pratique:

$$MOS = 4 - \sum_{k=0}^3 \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{(K+0,5-P)/\sigma} \exp(-t^2/2) dt \quad (4-35)$$

où

##### Type [A-3] symbole

$\sigma$  est l'écart type de la distribution normale de  $P$  et de  $OPI$ .

##### Type [C] symboles

$MOS$  est la note d'opinion moyenne de 0 à 4;

$p_k$  est le rapport de la catégorie d'évaluation  $k$  sur toutes les catégories.

L'équation (4-35) est calculée avec la table de distribution normale standard. L'établissement de cette équation à partir de l'équation (4-34) est représenté à l'Annexe F.

Les équations (4-34) et (4-35) sont l'adaptation du modèle décrit en [39].

#### 4.4 Types et valeurs des symboles

Les variables d'entrée du modèle sont énumérées au Tableau 4-2.  $L_{ME}$  et STMR sont calculés à l'avance avec la méthode décrite dans la Recommandation P.79.

Le Tableau 4-3 fournit les valeurs de  $a_i$ ,  $b_i$  et  $c_i$  (type [A-1]). Les valeurs des paramètres d'autres modèles (paramètres de types [A-1] et [A-2]) sont représentées au Tableau 4-4. Les valeurs des constantes ou des coefficients estimés à partir des résultats d'essais subjectifs (paramètres de type [A-3]) sont indiquées au Tableau 4-5.

TABLEAU 4-2

##### Variables d'entrée du modèle

| Symboles    | Définition   |
|-------------|--|
| $V_C$       | Voir le 4.3.1.1  |
| $Q_{op}$    | Voir le 4.3.1.1  |
| $OLR$       | Voir les 4.3.1.1 et § 4.3.2.2                            |
| $RLR$       | Voir le 4.3.1.1  |
| $S_{MJi}$   | Affaiblissement bouche à circuit (dB par rapport à V/Pa) |
| $S_{JEi}$   | Voir le 4.3.1.2  |
| $L$         | Affaiblissement circuit à circuit à 800 Hz (dB)          |
| $d_i$       | Voir le 4.3.2.4  |
| $L_{MEi}$   | Voir le 4.3.1.2  |
| $R_N$       | Voir le 4.3.1.2  |
| $L_{RNSTi}$ | Voir le 4.3.1.2  |
| $E$         | Voir le 4.3.2.5  |
| $D$         | Voir le 4.3.2.5  |
| $L_{MESTi}$ | Affaiblissement d'effet local bouche à oreille (dB)      |
| $St$        | Voir le 4.3.2.6  |

NOTES

- $L_{MEi} = -S_{MJi} - S_{JEi} + (L + d_i)$ .
- $St$  est calculé conformément au 8/P.79.
- $S_{MJi}$ ,  $L$  et  $L_{MEST}$  ne sont nécessaires que pour calculer  $L_{MEi}$  et  $St$ .
- $R_N$  doit être étendu à  $B_{RNi}$ .

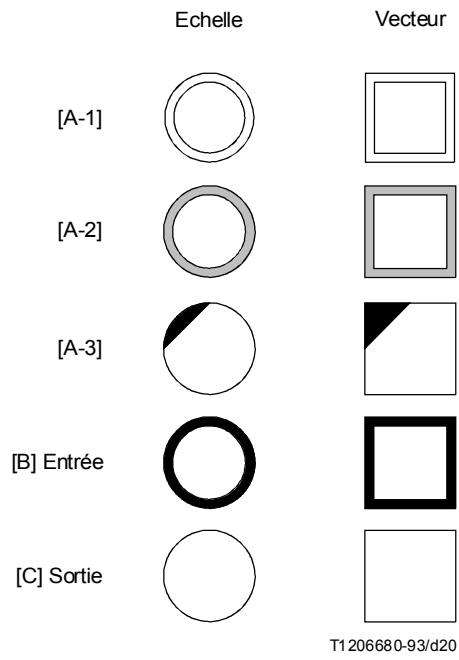


FIGURE 4-2  
 Définitions simplifiées utilisées dans les Figures 4-3 à 4-10

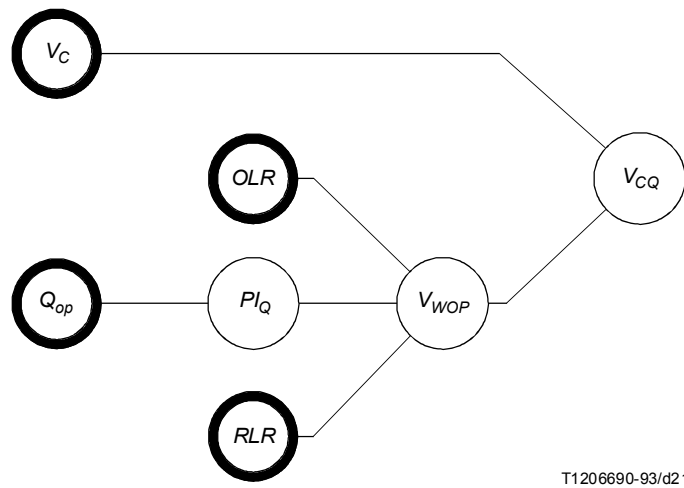
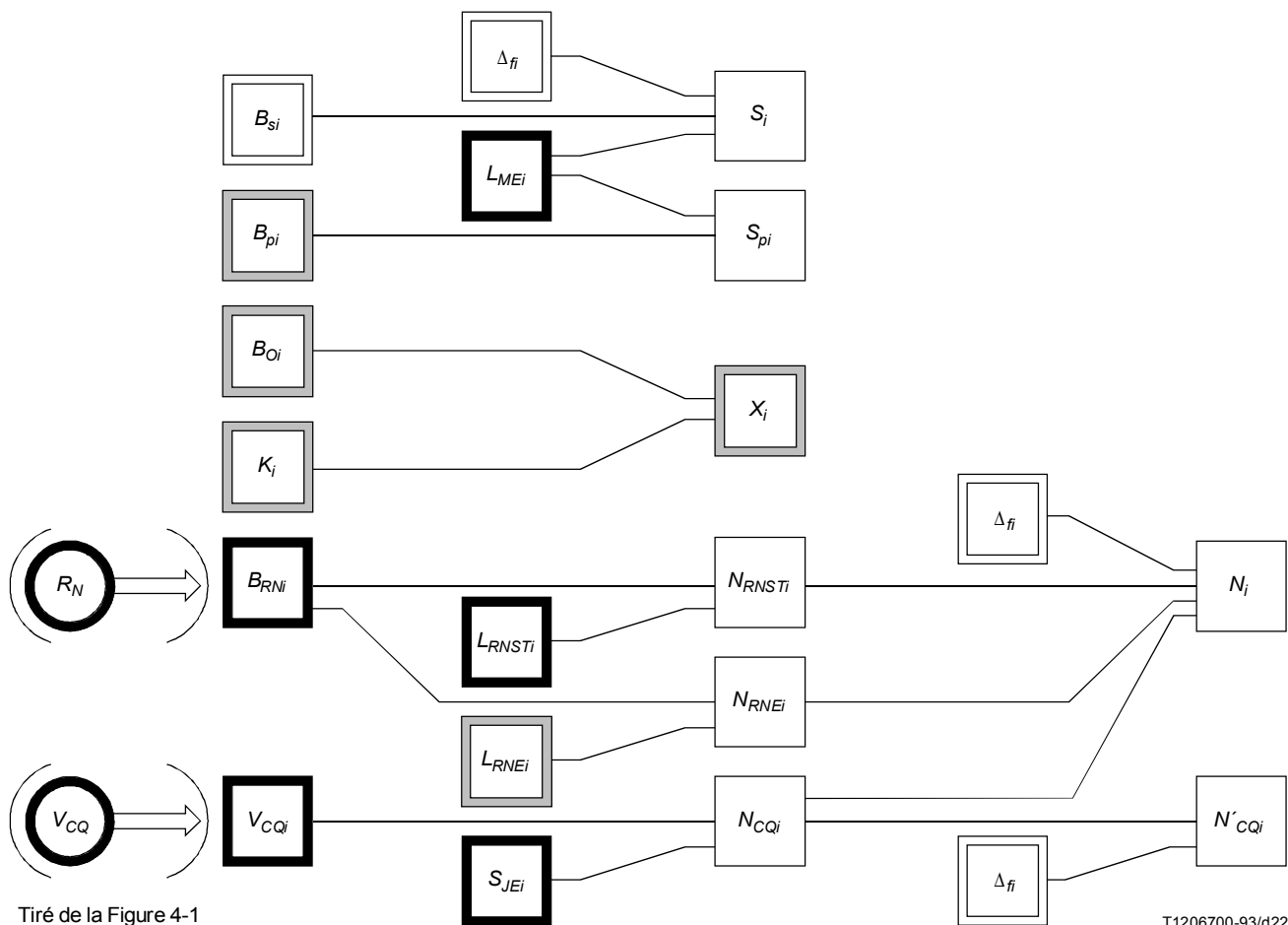


FIGURE 4-3  
 Schéma simplifié du calcul de  $V_{CQ}$



→ Indique la transformation en valeur spectrale.

FIGURE 4-4  
Schéma simplifié du calcul du spectre de la parole et du bruit

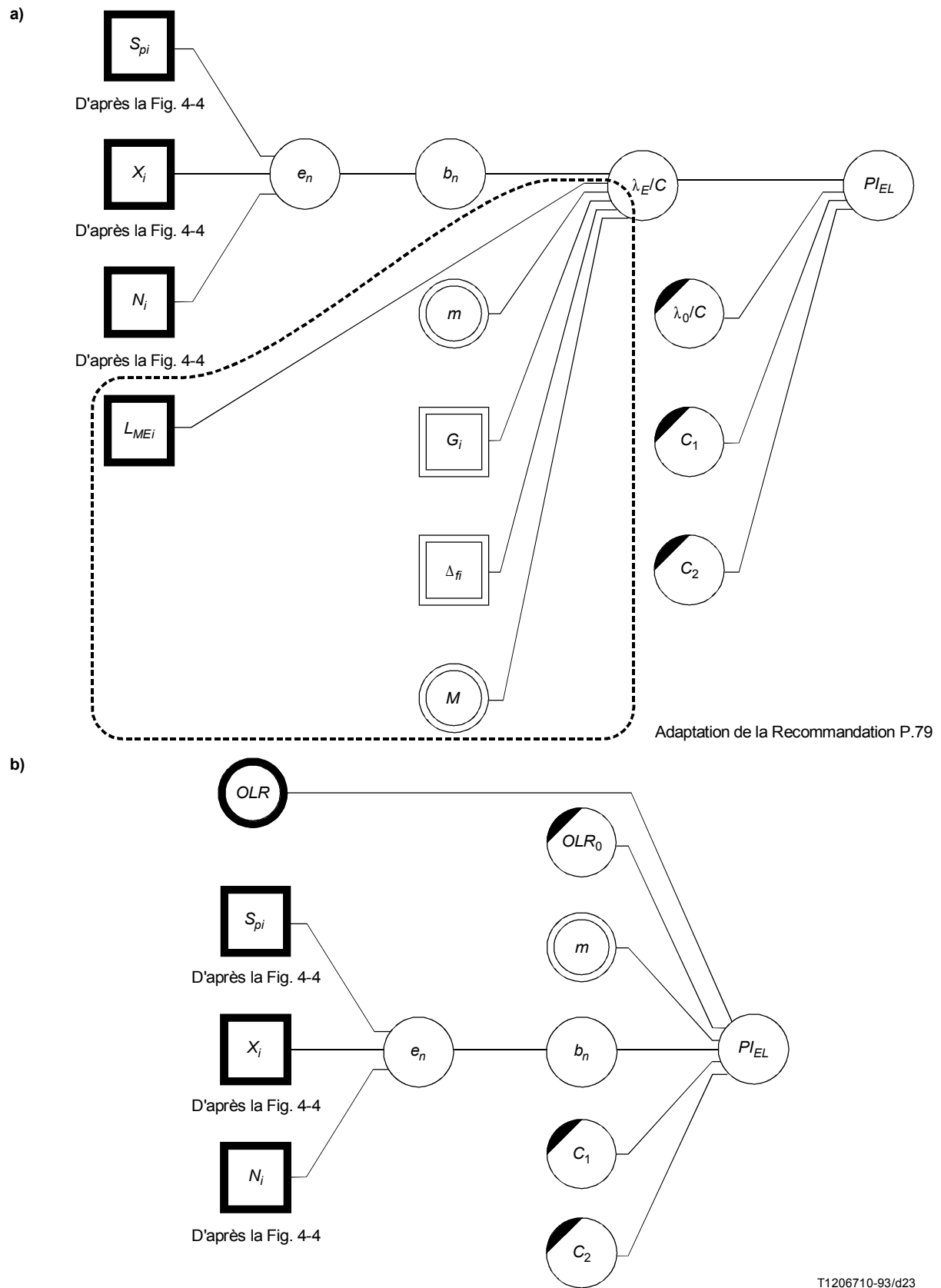
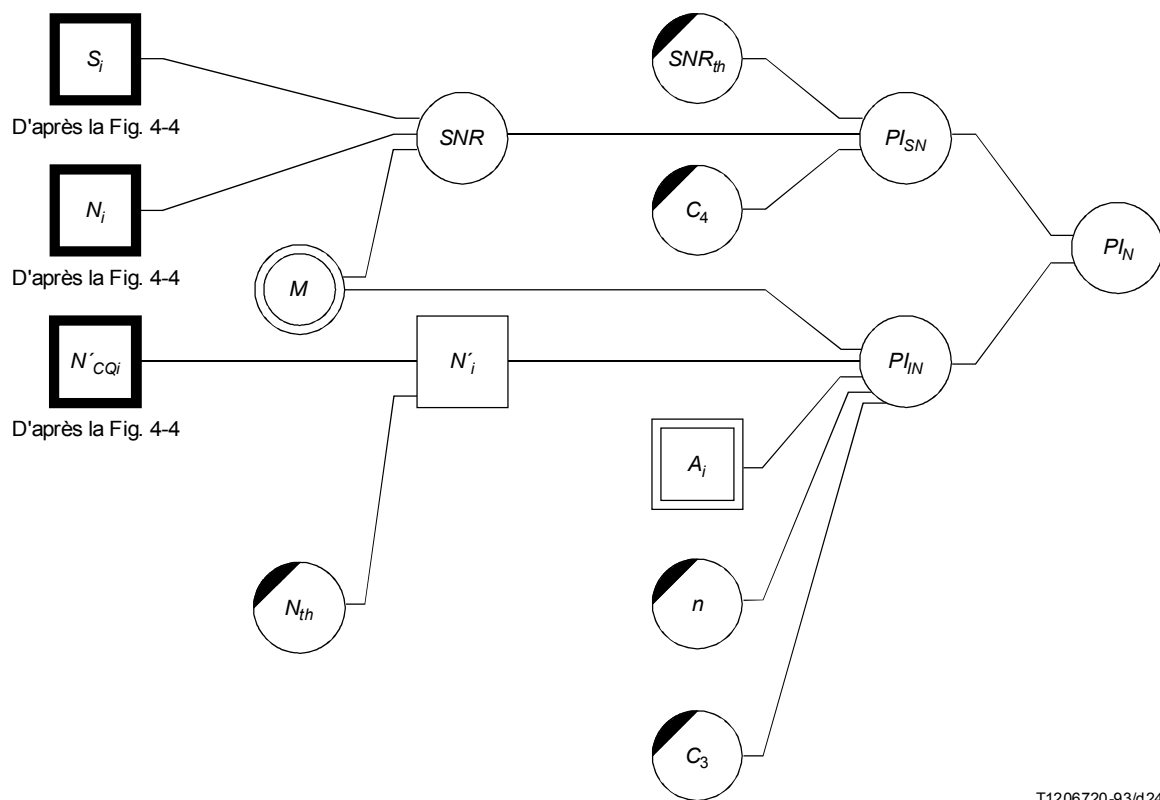


FIGURE 4-5  
Schéma simplifié du calcul de  $PI_{EL}$



T1206720-93/d24

FIGURE 4-6  
Schéma simplifié du calcul de  $PI_N$



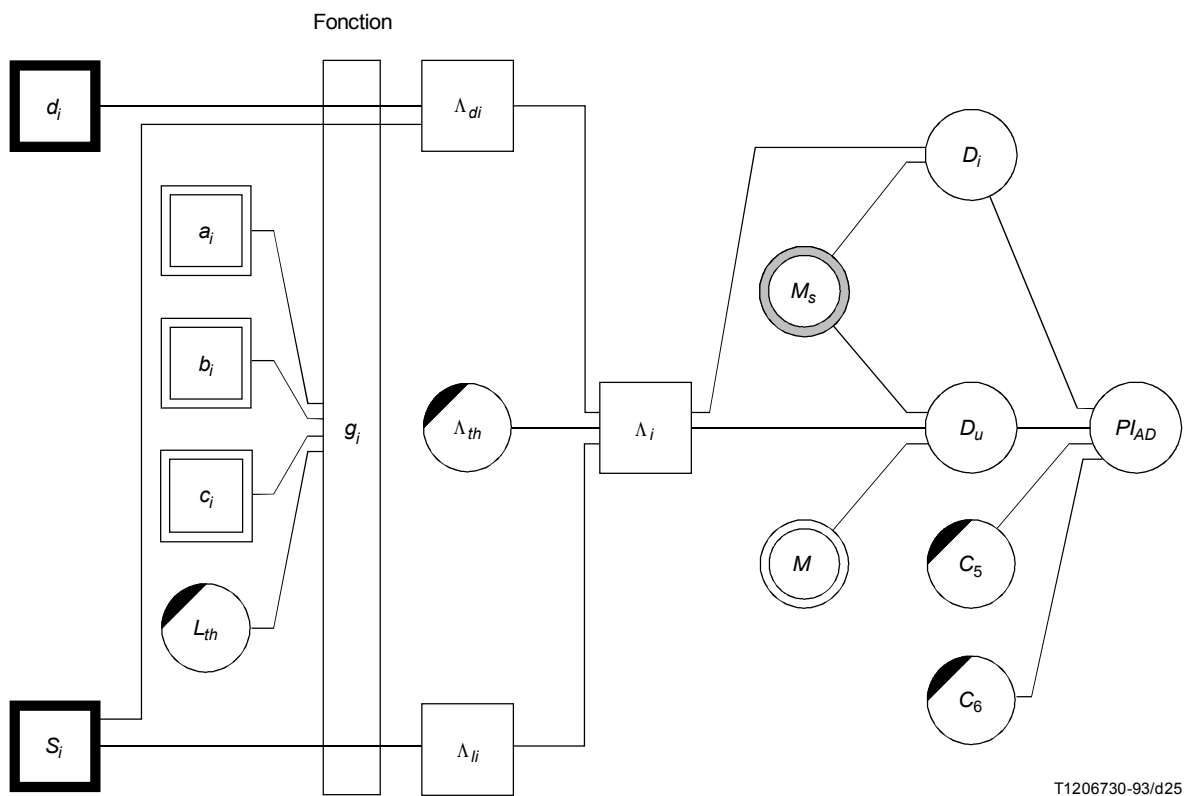
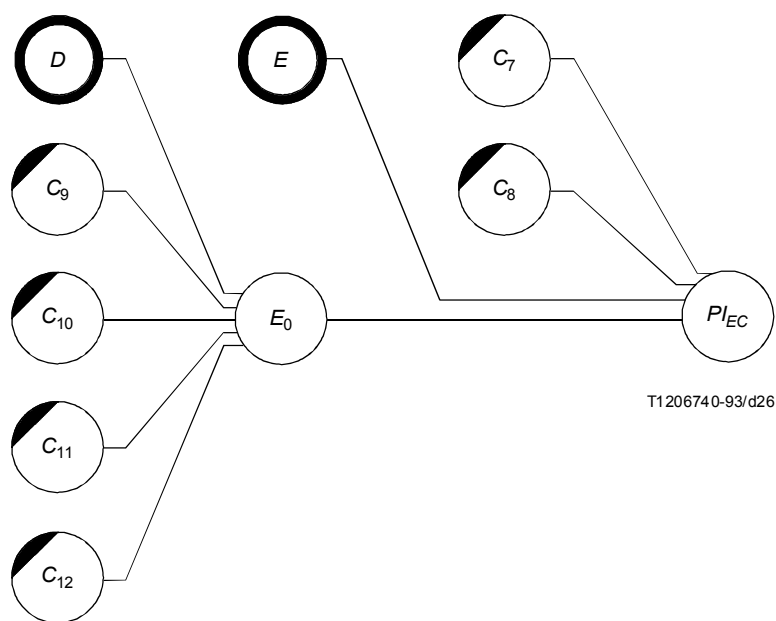
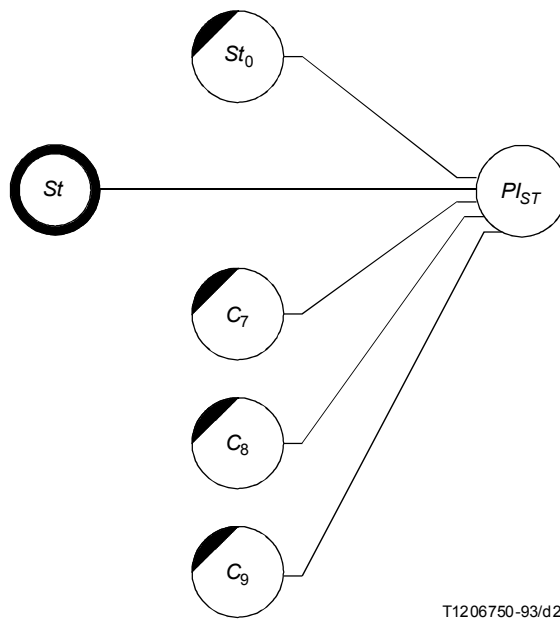


FIGURE 4-7  
Schéma simplifié du calcul de  $PI_{AD}$



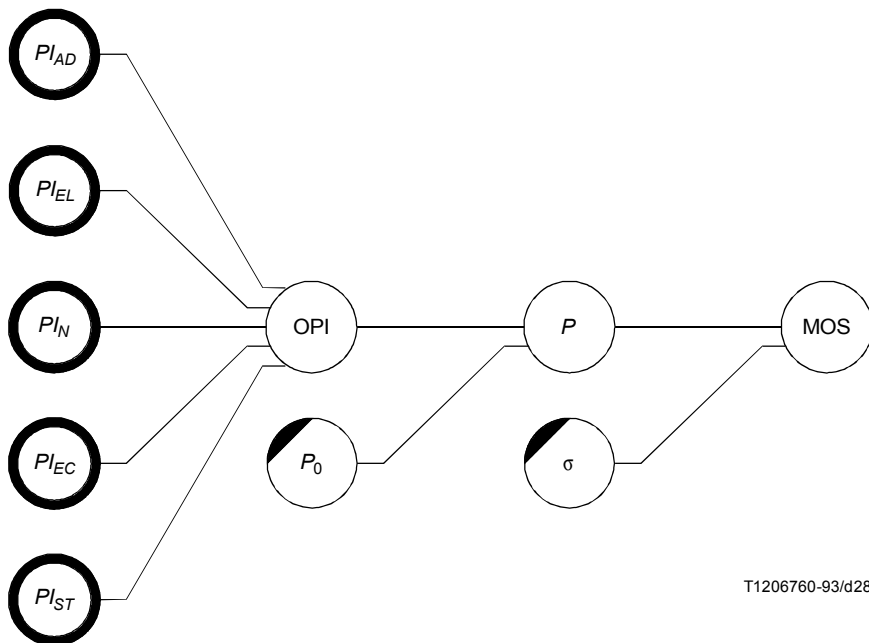
T1206740-93/d26

FIGURE 4-8  
Schéma simplifié du calcul de  $PI_{EC}$



T1206750-93/d27

FIGURE 4-9  
Schéma simplifié du calcul de  $PI_{ST}$



T1206760-93/d28

FIGURE 4-10  
Schéma simplifié du calcul de la MOS

TABLEAU 4-3

Valeurs de  $a_i$ ,  $b_i$  et  $c_i$   
(tirées de [38])

| N° | Fréquence<br>(Hz) | $a_i$ | $b_i$ | $c_i$    |
|----|-------------------|-------|-------|----------|
| 1  | 100               | -33,5 | 1,570 | -0,00269 |
| 2  | 125               | -25,7 | 1,500 | -0,00258 |
| 3  | 160               | -19,4 | 1,444 | -0,00248 |
| 4  | 200               | -14,7 | 1,404 | -0,00242 |
| 5  | 250               | -10,8 | 1,362 | -0,00231 |
| 6  | 315               | -7,4  | 1,314 | -0,00214 |
| 7  | 400               | -4,7  | 1,259 | -0,00185 |
| 8  | 500               | -3,0  | 1,205 | -0,00151 |
| 9  | 630               | -1,5  | 1,141 | -0,00107 |
| 10 | 800               | -0,5  | 1,064 | -0,00050 |
| 11 | 1000              | 0,0   | 1,000 | 0,00000  |
| 12 | 1250              | 0,6   | 0,967 | 0,00028  |
| 13 | 1600              | 1,7   | 0,937 | 0,00071  |
| 14 | 2000              | 3,3   | 0,924 | 0,00100  |
| 15 | 2500              | 5,3   | 0,928 | 0,00118  |
| 16 | 3150              | 7,3   | 0,940 | 0,00119  |
| 17 | 4000              | 7,9   | 0,954 | 0,00098  |
| 18 | 5000              | 5,3   | 0,973 | 0,00059  |
| 19 | 6300              | -2,6  | 1,028 | 0,00013  |

TABLEAU 4-4

## Modèles de paramètres

|                   | N° | Fréquence | $\Delta_f$ | $B_{si}$               | $B_{pi}$               | $X_i$                  | $L_{RNE}$ | $10 \log_{10} G_i$ | $A_i$ |
|-------------------|----|-----------|------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------|--------------------|-------|
| Type de paramètre |    |           |            | [A-1]                  | [A-2]                  | [A-2]                  | [A-2]     | [A-1]              | [A-1] |
| Origine           |    |           |            | Rec. P.51              | $B_{si} + 12$          | NTT 1968               | NTT 1968  | Rec. P.79          | ISO   |
|                   |    | (Hz)      | (Hz)       | (dB)<br>20 $\mu$ Pa/Hz | (dB)<br>20 $\mu$ Pa/Hz | (dB)<br>20 $\mu$ Pa/Hz | (dB)      | (dB)               | (dB)  |
|                   | 1  | 100       | 22,4       | 57,2                   | 69,2                   | 11,0                   | 0,0       | -32,63             | -19,1 |
|                   | 2  | 125       | 29,6       | 60,0                   | 72,0                   | 8,9                    | 0,0       | -29,12             | -16,1 |
|                   | 3  | 160       | 37,5       | 62,1                   | 74,1                   | 5,5                    | 0,0       | -27,64             | -13,4 |
|                   | 4  | 200       | 44,7       | 62,9                   | 74,9                   | 2,2                    | 0,0       | -28,46             | -10,9 |
|                   | 5  | 250       | 57,0       | 63,0                   | 75,0                   | 0,0                    | 0,0       | -28,58             | -8,6  |
|                   | 6  | 315       | 74,3       | 62,4                   | 74,4                   | -3,0                   | 0,7       | -31,10             | -6,6  |
|                   | 7  | 400       | 92,2       | 61,0                   | 73,0                   | -6,0                   | 0,0       | -29,78             | -4,8  |
|                   | 8  | 500       | 114,0      | 59,3                   | 71,3                   | -8,0                   | 0,0       | -32,68             | -3,2  |
|                   | 9  | 630       | 149,0      | 57,0                   | 69,0                   | -9,5                   | 2,2       | -33,21             | -1,9  |
|                   | 10 | 800       | 184,0      | 54,2                   | 66,2                   | -10,3                  | 8,5       | -34,14             | -0,8  |
|                   | 11 | 1000      | 224,0      | 51,4                   | 63,4                   | -11,0                  | 13,5      | -35,33             | 0,0   |
|                   | 12 | 1250      | 296,0      | 48,5                   | 60,5                   | -11,8                  | 15,5      | -37,90             | 0,6   |
|                   | 13 | 1600      | 375,0      | 45,2                   | 57,2                   | -13,0                  | 20,0      | -38,41             | 1,0   |
|                   | 14 | 2000      | 447,0      | 42,2                   | 54,2                   | -16,0                  | 23,7      | -41,25             | 1,2   |
|                   | 15 | 2500      | 570,0      | 39,4                   | 51,4                   | -19,8                  | 30,0      | -41,71             | 1,3   |
|                   | 16 | 3150      | 743,0      | 36,8                   | 48,8                   | -23,0                  | 27,0      | -45,80             | 1,2   |
|                   | 17 | 4000      | 922,0      | 34,5                   | 46,5                   | -26,0                  | 33,5      | -43,50             | 1,0   |
|                   | 18 | 5000      | 1140,0     | 32,7                   | 44,7                   | -27,0                  | 41,0      | -47,13             | 0,5   |
|                   | 19 | 6300      | 1490,0     | 31,4                   | 43,4                   | -24,0                  | 50,0      | -48,27             | -0,1  |

NOTE –  $X_i (= B_{0i} - k_i)$  et  $L_{RNE}$  peuvent être des paramètres d'entrée.

TABLEAU 4-5

## Valeurs des constantes et des coefficients estimés

| N° | Article correspondant | Résultat  | Symbole   | Valeur   |
|----|-----------------------|-----------|---|--|
| 1  | 4.3.2.1<br>4.3.2.2    | $PI_{EL}$ | $C_1$<br>$C_2$<br>$\lambda_0^j c$<br>$OLR_0$                | 0,0475<br>0,010<br>0,780<br>5,34               |
| 2  | 4.3.2.3               | $PI_{IN}$ | $N_{th}$<br>$n$<br>$C_3$                                    | 33,0<br>0,500<br>0,012                         |
| 3  | 4.3.2.3               | $PI_{SN}$ | $SNR_{th}$<br>$C_4$   | 7,5<br>-0,005                                  |
| 4  | 4.3.2.4               | $PI_{AD}$ | $L_{th}$<br>$C_5$<br>$C_6$<br>$\Lambda_{th}$                | 57,5<br>0,043<br>0,043<br>15,0                 |
| 5  | 4.3.2.5               | $PI_{EC}$ | $C_7$<br>$C_8$<br>$C_9$<br>$C_{10}$<br>$C_{11}$<br>$C_{12}$ | 13,69<br>0,01<br>26,4<br>2,65<br>14,00<br>24,6 |
| 6  | 4.3.2.6               | $PI_{ST}$ | $C_{13}$<br>$ST_0$  | 0,00856<br>9,000                               |
| 7  | 4.3.3                 | MOS       | $P_0$<br>$\sigma$   | 3,558<br>0,730                                 |

**Annexe A**

(voir 1.1)

**Appréciations subjectives des dégradations de transmission****A.1 Introduction**

Les chiffres figurant dans la présente annexe montrent l'influence relative des dégradations de transmission typiques sur les appréciations subjectives. Ils sont fondés sur les modèles d'évaluation de l'indice de transmission décrits ci-dessus. Ces appréciations consistent en une échelle d'opinions à cinq notes (excellent, bon, passable, médiocre et mauvais ou non satisfaisant) et les résultats sont présentés sous la forme d'un pourcentage d'opinions bon ou mieux (bon plus excellent) et médiocre ou mauvais (médiocre plus mauvais). Trois formules sont décrites ci-dessus pour convertir l'indice de transmission en appréciations subjectives. La formule utilisée dans la présente annexe correspond aux résultats des essais de conversation soumis au CCITT par plusieurs Administrations au cours de la période d'études 1973-1976.

## A.2 Equivalent global pour la sonie (OLR) et le bruit de circuit

Les appréciations subjectives pour les effets combinés de l'OLR ( $L'_e$  en dB) et du bruit de circuit ( $N'_c$  en dBmp) sont indiquées aux Figures A.1 et A.2. Le bruit de circuit se rapporte à un système récepteur ayant un équivalent pour la sonie à la réception (RLR) à la réception de 0 dB. Dans ces figures, le bruit de circuit équivalant au bruit de salle  $N'_{Re}$  est de  $-58,63$  dBmp et la largeur de bande/pente ( $k_{BW}$ ) est égale à 1; il n'est tenu compte ni du bruit de quantification, ni de l'écho pour la personne qui écoute, ni de l'écho pour la personne qui parle ni de l'effet local.

## A.3 Bruit de quantification dû aux dispositifs MIC

Les résultats d'appréciation de l'influence du bruit de quantification dû aux dispositifs MIC disposés en cascade à 7 bits de la loi  $\mu$  et à 8 bits de la loi A sont représentés aux Figures A.3 et A.4. Pour ces résultats, on suppose un OLR ( $L'_e$ ) global de 16 dB et un bruit de circuit ( $N'_c$ ) de  $-56$  dBmp. Les hypothèses en matière de bruit de salle, de largeur de bande/pente et d'effet local sont les mêmes que celles du paragraphe A.2. On admet par hypothèse que le niveau des sons vocaux à la sortie d'un appareil téléphonique ayant un SLR à l'émission de 0 dB est de  $-10$  VU.

## A.4 Largeur de bande

L'influence sur les appréciations subjectives de la largeur de bande entre fréquences donnant lieu à un affaiblissement de 10 dB par rapport à 1000 Hz est indiquée aux Figures A.5 et A.6. Pour ces résultats, on a supposé un OLR ( $L'_e$ ) de 16 dB, un bruit de circuit ( $N'_c$ ) de  $-56$  dBmp, un bruit de circuit équivalant au bruit de salle ( $N'_{Re}$ ) de  $-58,63$  dBmp, et des facteurs de pente inférieur ( $S_l$ ) et supérieur ( $S_u$ ) égaux respectivement à 2 et 3. Il n'est tenu compte ni de l'écho pour la personne qui écoute, ni de l'écho pour la personne qui parle, ni de l'effet local.

## A.5 Echo pour la personne qui écoute

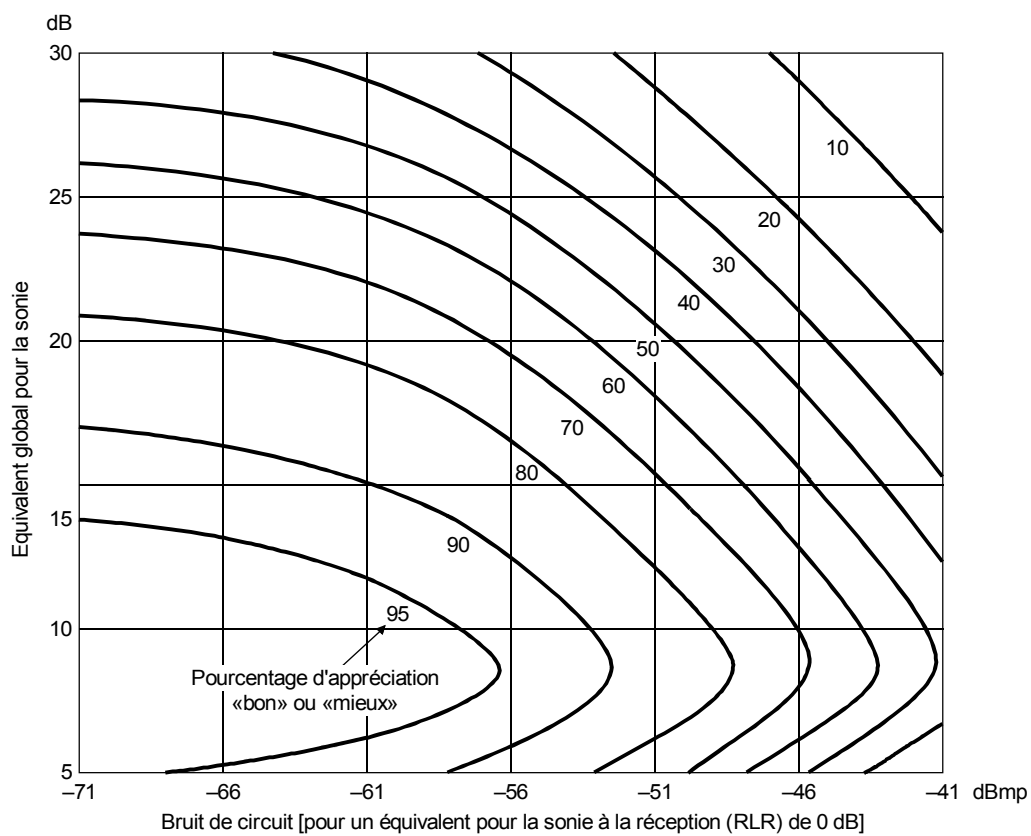
L'effet de l'écho pour la personne qui écoute sur les appréciations subjectives est indiqué aux Figures A.7 et A.8. Sur ces figures, l'opinion (obtenue avec le modèle initial et le nouveau modèle du Supplément) est tracée en fonction de l'affaiblissement pondéré (WEPL, en dB) du trajet des courants d'écho pour la personne qui écoute et du temps de propagation aller-retour ( $D_L$ , en ms) sur le trajet des courants d'écho pour la personne qui écoute. Les courbes ont été calculées sur la base des hypothèses suivantes: OLR ( $L'_e$ ) = 16 dB; bruit de circuit ( $N'_c$ ) =  $-56$  dBmp; bruit de circuit équivalant au bruit de salle ( $N'_{Re}$ ) =  $-58,63$  dBmp; et facteur largeur de bande/pente = 1. Il n'est pas tenu compte de l'écho pour la personne qui écoute ni de l'effet local.

## A.6 Echo pour la personne qui parle

Les appréciations subjectives pour l'écho pour la personne qui parle sont présentées aux Figures A.9 et A.10 en fonction de l'OLR ( $E$ , en dB) du trajet des courants d'écho pour la personne qui parle et du temps de propagation aller-retour ( $D$ , en ms) sur le trajet des courants d'écho pour la personne qui parle. Ici encore, les hypothèses sont les suivantes: OLR ( $L'_e$ ) global = 16 dB; bruit de circuit ( $N'_c$ ) =  $-56$  dBmp; bruit de circuit équivalant au bruit de salle ( $N'_{Re}$ ) =  $-58,63$  dBmp; et facteur largeur de bande/pente = 1. Il n'est pas tenu compte de l'écho pour la personne qui écoute ni de l'effet local.

## A.7 Effet local

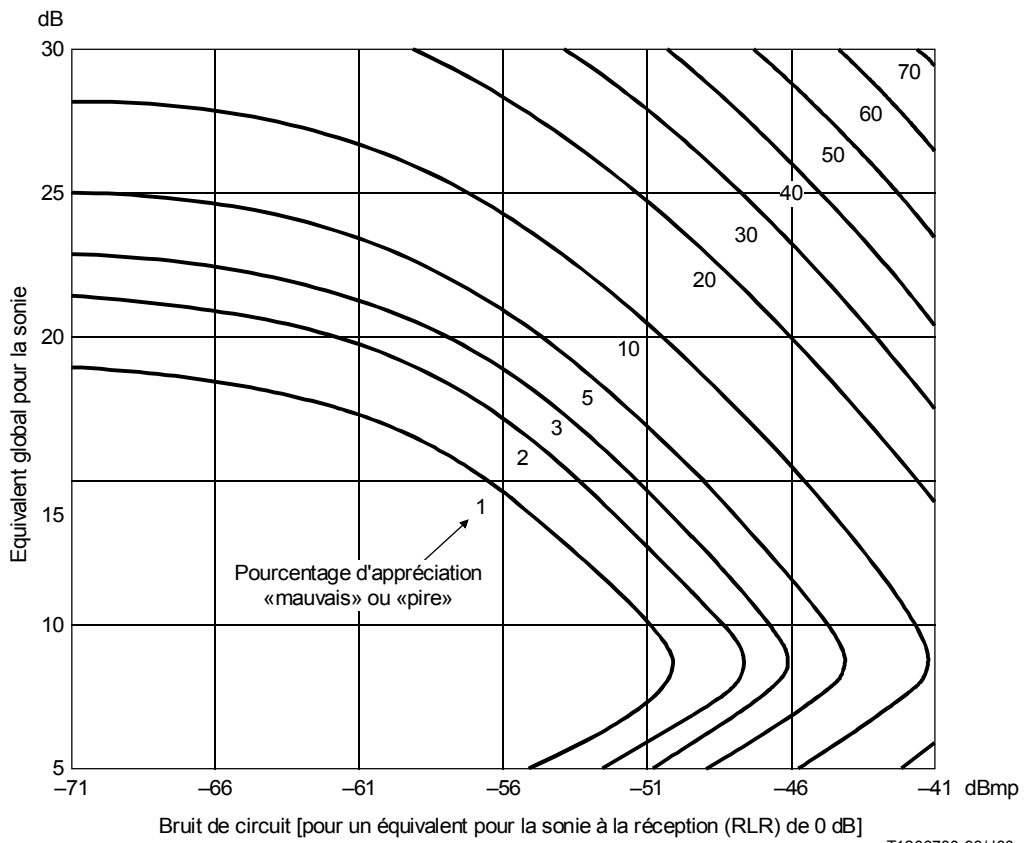
Les appréciations subjectives pour l'effet local sont présentées aux Figures A.11 et A.12 en fonction de l'affaiblissement sur le trajet de l'effet local (STMR, en dB) et de la forme de la réponse de l'effet local (dB/octave). Pour tracer ces courbes, on a choisi des niveaux de dégradation qui donnent pour  $R_{LN}$  une valeur constante, caractéristique des communications interurbaines établies en Amérique du Nord, et une gamme de valeurs  $R_E$  qui pourraient être obtenues sur ces mêmes communications.



T1206770-93/d29

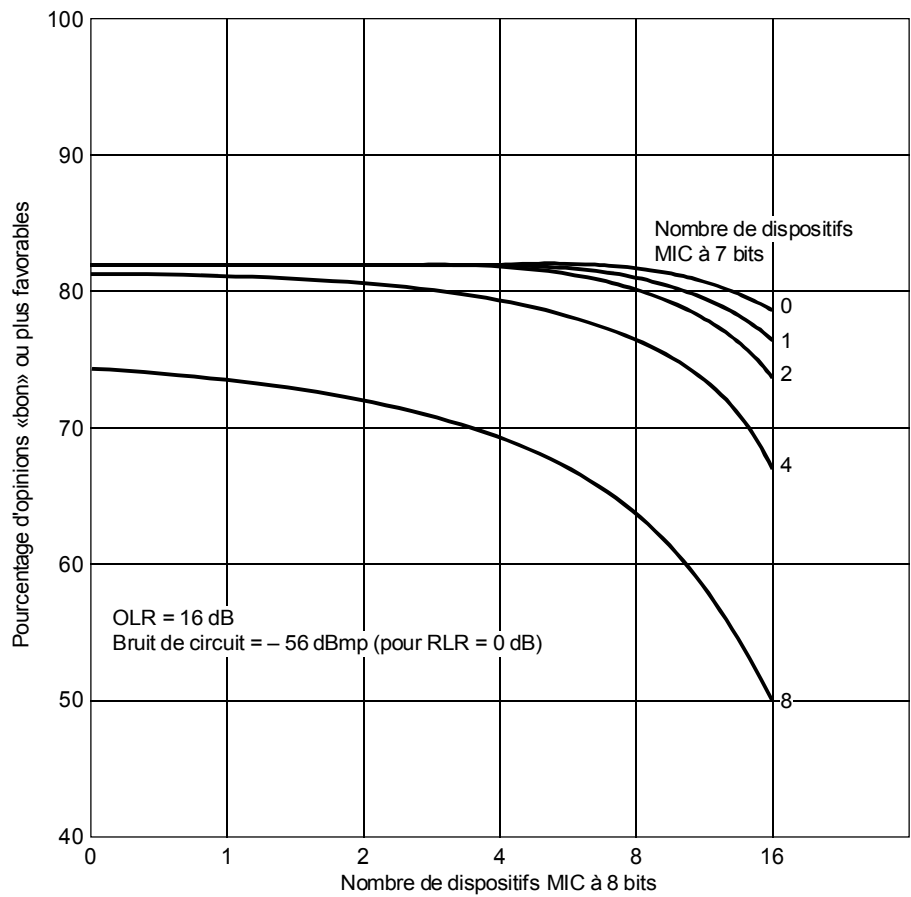
FIGURE A.1  
 Appréciations subjectives pour l'OLR et le bruit de circuit





T1206780-93/d30

FIGURE A.2  
**Appréciations subjectives pour l'OLR et le bruit de circuit**



T1206790-93/d31

FIGURE A.3  
Appréciations subjectives pour les dispositifs MIC en cascade

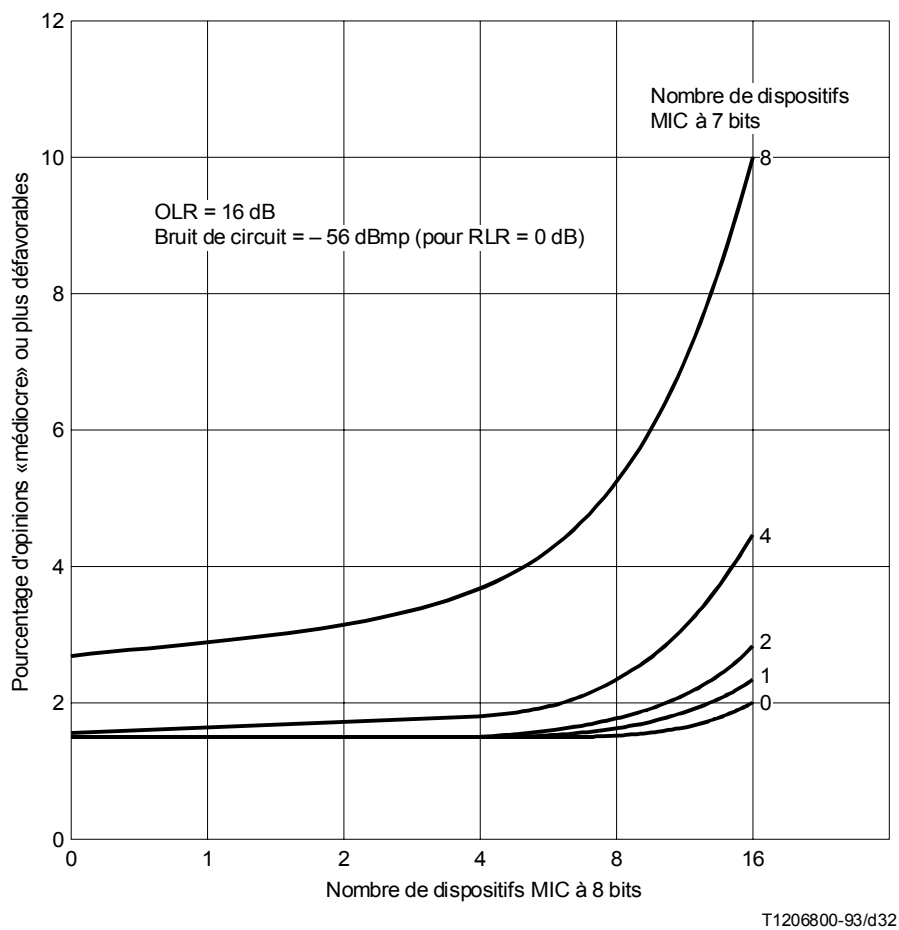


FIGURE A.4  
Appréciations subjectives pour les dispositifs MIC en cascade

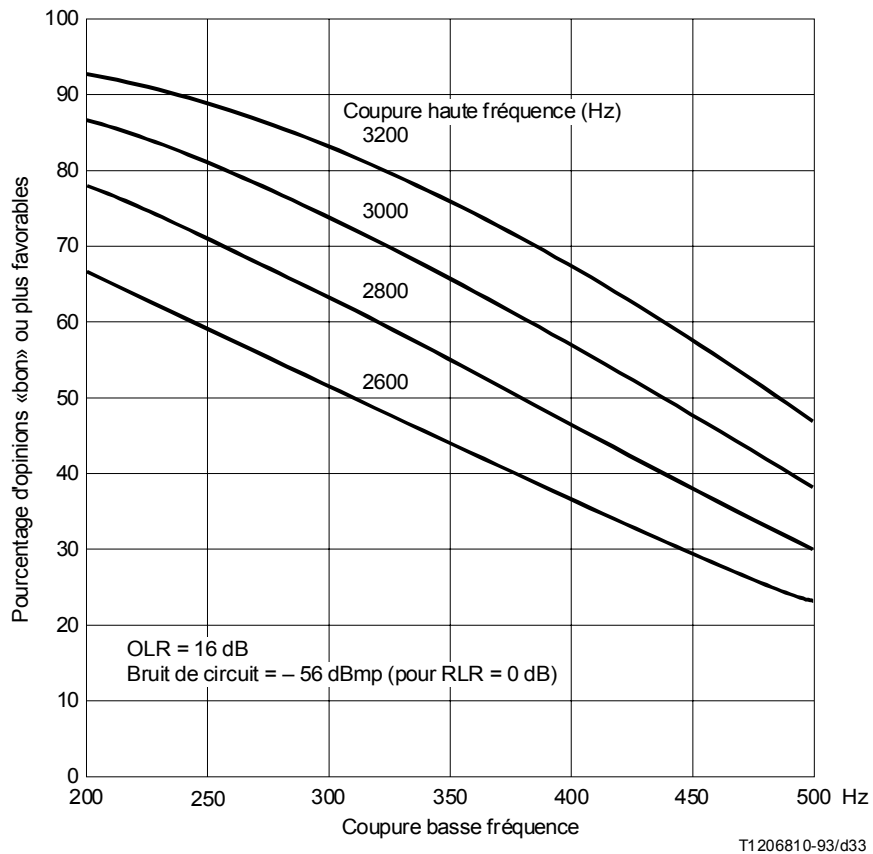


FIGURE A.5  
Appréciations subjectives pour la largeur de bande

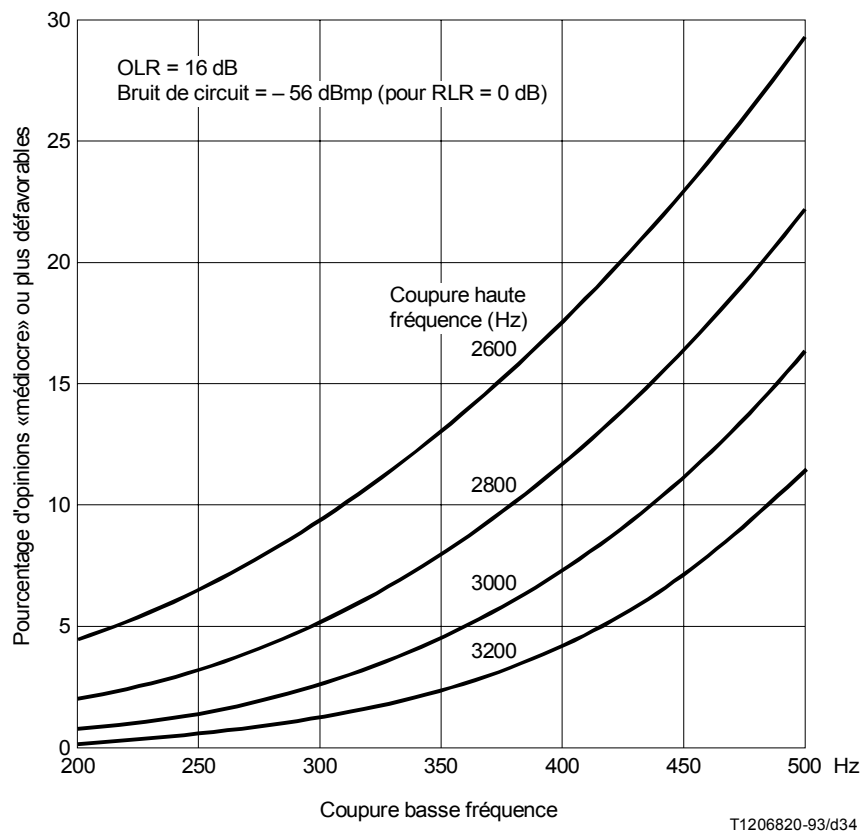


FIGURE A.6  
Appréciations subjectives pour la largeur de bande

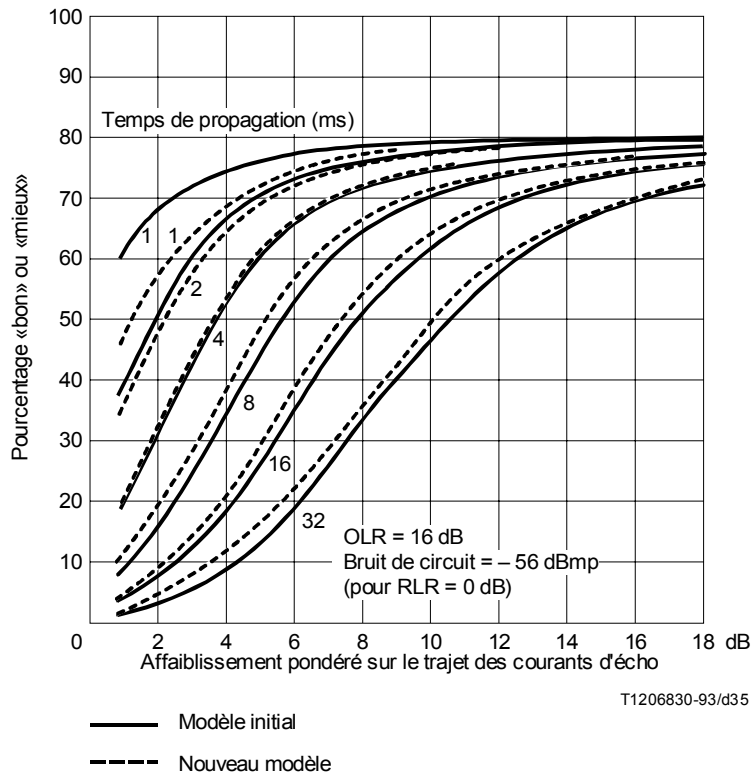


FIGURE A.7

Appréciations subjectives pour l'OLR, le bruit de circuit et l'écho pour la personne qui écoute

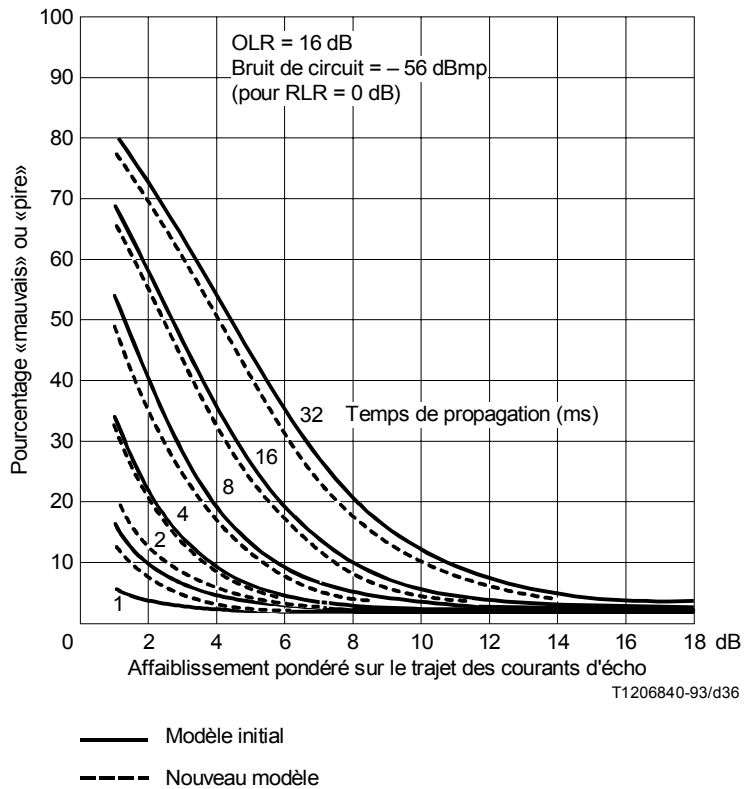
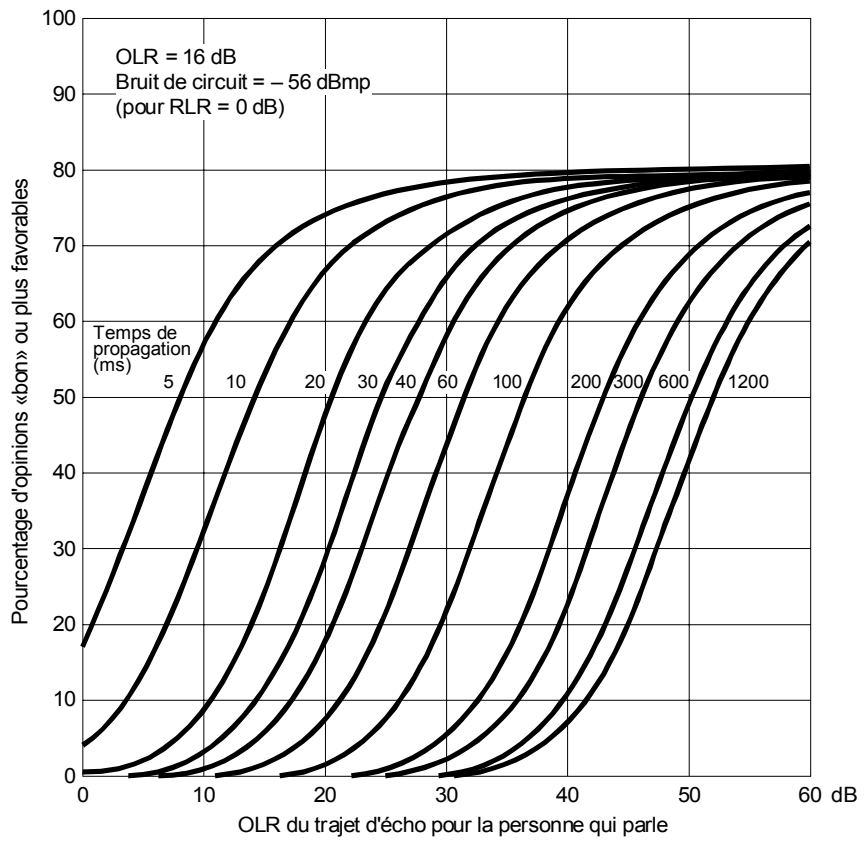


FIGURE A.8

Appréciations subjectives pour l'OLR, le bruit de circuit et l'écho pour la personne qui écoute



T1206850-93/d37

FIGURE A.9  
 Appréciations subjectives pour l'OLR, le bruit de circuit  
 et l'écho pour la personne qui parle

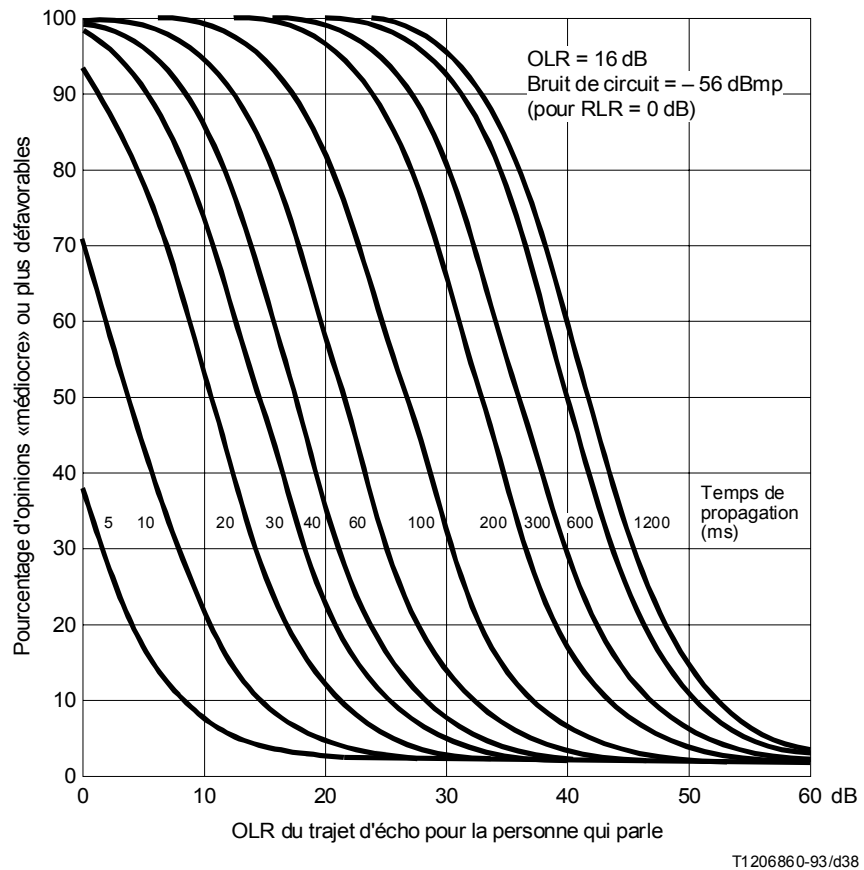


FIGURE A.10  
**Appréciations subjectives pour l'OLR, le bruit de circuit  
 et l'écho pour la personne qui parle**



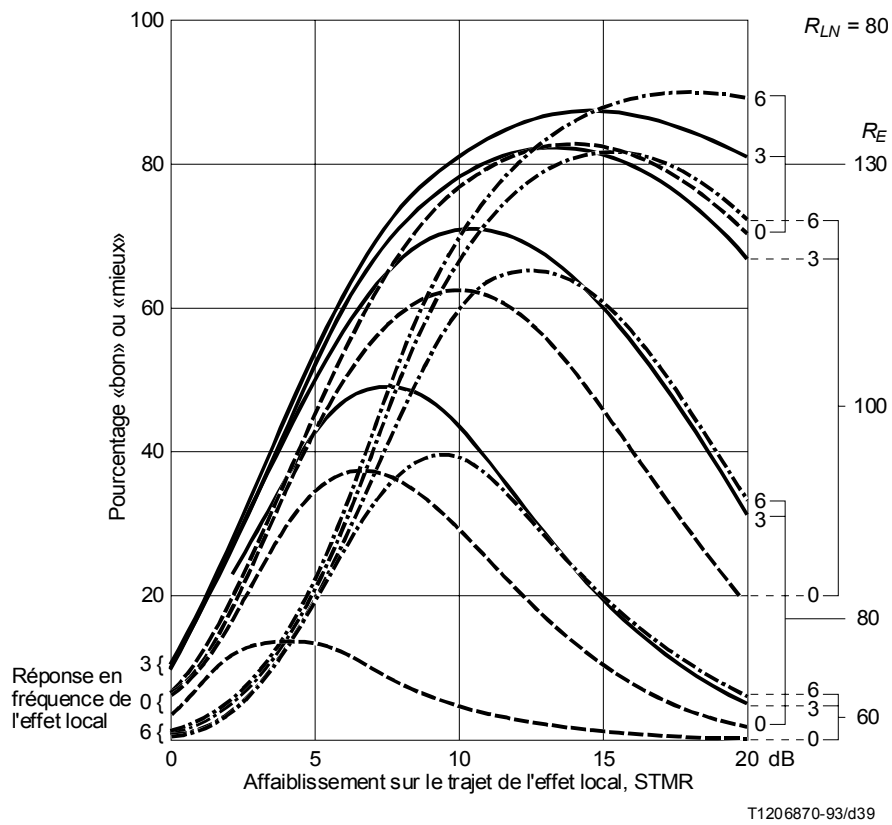


FIGURE A.11

Appréciations subjectives pour l'OLR, le bruit de circuit,  
l'écho pour la personne qui parle et l'effet local

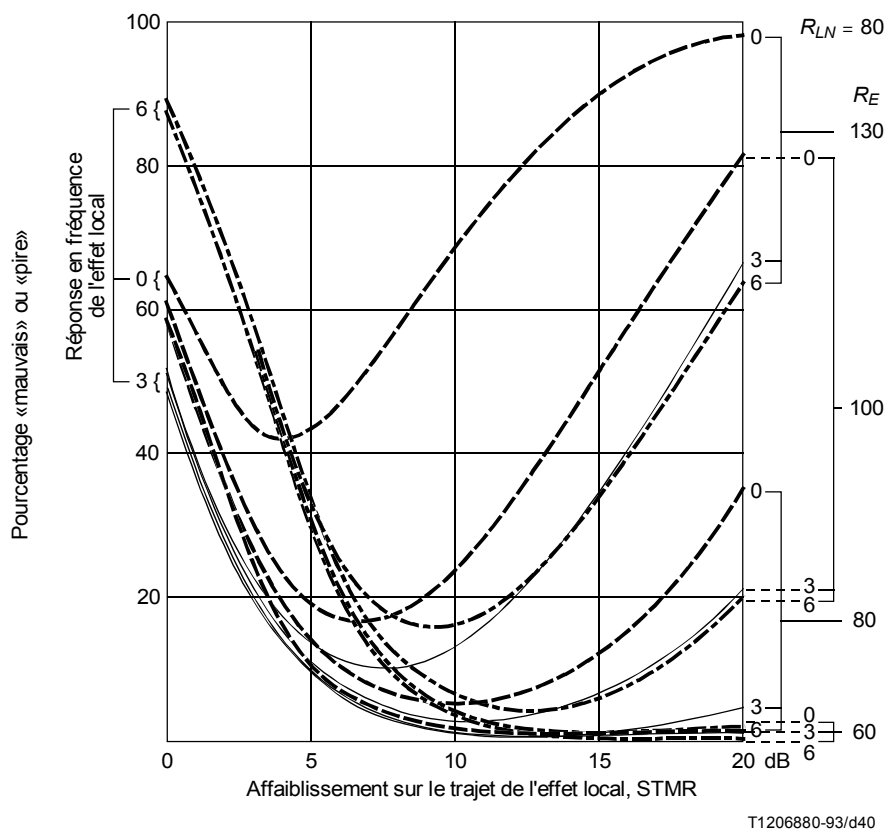


FIGURE A.12

Appréciations subjectives pour l'OLR, le bruit de circuit, l'écho pour la personne qui parle et l'effet local

## Annexe B

(au paragraphe 2.9)

### Qualité de transmission calculée des réseaux téléphoniques

#### B.1 Introduction

L'objet de la présente annexe est de donner des exemples de résultats obtenus à partir du modèle subjectif que reproduit le programme CATNAP du British Telecom (BT). CATNAP couvre à la fois ce modèle et une section de calcul de la transmission qui permet d'introduire dans le programme des éléments de connexion facilement identifiables (longueurs de câble, ponts d'alimentation, etc.). Ces résultats sont des exemples de calculs concernant diverses «connexions fictives de référence» (HRC) (*hypothetical reference connections*) qui peuvent intervenir dans le réseau ou être utiles aux planificateurs.

Les équivalents pour la sonie sont calculés conformément à la Recommandation P.79 avec utilisation des bandes de fréquences comprises entre 200 Hz et 4 kHz. Les notes d'opinion  $Y_{LE}$  et  $Y_C$  vont de 0 à 4; elles représentent respectivement l'effort à l'écoute et l'opinion sur la conversation cités dans la Recommandation P.80. Les valeurs du courant de ligne indiquées avec les résultats sont déterminées par le programme, qui décide d'après les caractéristiques du système téléphonique local quelles sont parmi un certain nombre de lignes normalisées celles dont le courant est approprié et, en conséquence, quelles sont les valeurs à utiliser pour les caractéristiques des appareils téléphoniques. Le programme donne aussi les niveaux vocaux pour les conditions de parole contrôlées ( $V_L$ ) et dans les conditions de la conversation ( $V_C$ ). Ces niveaux, ainsi que des équivalents pour la sonie, sont rapportés aux interfaces (NI et FI) indiquées sur les diagrammes.

Les résultats découlent du modèle tel qu'il existe actuellement (version 1983). Comme les recherches se poursuivent pour améliorer la corrélation entre les résultats calculés et les résultats expérimentaux, le modèle est susceptible de modification.

## **B.2 HRC 1 – Communication dans la zone du même central (voir la Figure B.1)**

Il s'agit d'une connexion symétrique, avec une longueur moyenne des lignes d'abonné. La suppression de l'effet local est assez bonne, les niveaux du bruit de salle et du bruit de circuit sont bas. La note d'opinion sur la conversation est bonne mais l'affaiblissement global est petit, ce qui signifie que le niveau sonore de la connexion est plus fort que la valeur préférée. Une connexion de niveau sonore plus faible donnerait une meilleure note d'opinion.

## **B.3 HRC 2 – Communication nationale limite (voir la Figure B.2)**

Ces deux HRC sont symétriques; elles comprennent des lignes locales limites BT de 1000  $\Omega$ /10 dB, des jonctions locales à 4,5 dB et deux jonctions 4 fils, chacune avec un affaiblissement de 3,5 dB; ce sont les limites établies par le plan de transmission de British Telecom [22].

HRC 2 (a) utilise des lignes locales de cuivre à 0,5 mm, qui donnent une bien meilleure adaptation d'impédance pour l'effet local que les lignes de cuivre à 0,9 mm de HRC 2 (b). Le changement du niveau d'effet local (> 10 dB) entraîne, pour la conversation, la chute de la note d'opinion qui passe de 1,9 à 0,8 (d'assez bon à médiocre).

## **B.4 HRC 3 – Communication à grande distance avec une jonction MIC (voir la Figure B.3)**

Pour chaque connexion (OLR = 13,4 dB), l'affaiblissement global est beaucoup moins prononcé que dans le cas de HRC 2. Les lignes locales, de longueur moyenne, sont en fil de cuivre de 0,5 mm, ce qui donne une assez bonne adaptation d'impédance pour l'effet local; il n'y a maintenant qu'une seule jonction locale. C'est une jonction MIC à quatre fils à 3 dB. Tout cela est introduit dans le programme sous forme d'un tout unique, caractérisé par les impédances d'adaptation des terminaisons deux/quatre fils, par l'affaiblissement d'adaptation dans chaque direction et par le temps de propagation de phase dans la boucle. Pour cette communication, le bruit de quantification est négligeable en ce qui concerne les niveaux vocaux à l'entrée calculés dans ce cas par CATNAP.

La connexion est symétrique du point de vue de l'affaiblissement de transmission, mais une petite différence entre les niveaux d'effet local conduit à donner des notes d'opinion sur la conversation légèrement différentes aux deux extrémités.

## **B.5 HRC 4 – Asymétrie de l'affaiblissement de transmission (voir la Figure B.4)**

On a procédé à un certain nombre de calculs pour HRC 4, afin de montrer l'effet de la variation du degré d'asymétrie. Les courbes ne sont pas lissées, elles relient simplement les points portés sur le graphique. Elles montrent l'effet qu'exerce la variation de l'affaiblissement de transmission dans une seule direction (de l'extrémité proche à l'extrémité éloignée) sur la note d'opinion concernant la conversation et sur la tension vocale pendant la conversation. L'affaiblissement de l'extrémité éloignée à l'extrémité proche est maintenu à une valeur constante, de sorte qu'il influence beaucoup moins l'opinion de l'abonné à l'extrémité proche. On soupçonne que la divergence est excessive entre les courbes des tensions vocales. Un complément d'étude est nécessaire sur ce point, mais il faut signaler que les courbes d'opinion ont la même allure que dans les résultats de Boeryd [30].

Le niveau d'effet local n'était en pratique pas affecté par la modification de l'affaiblissement de transmission.

## **B.6 HRC 5 – Effet du bruit de salle (voir la Figure B.5)**

Les calculs effectués pour HRC 5 montrent l'effet du changement de niveau du bruit de salle dans le cas d'un abonné avec trajet d'effet local fort (extrémité proche) et d'un abonné avec trajet d'effet local faible (extrémité éloignée). Comme pour HRC 4, la courbe relie simplement les points calculés.

## **B.7 HRC 6 – Effet du bruit de circuit et de la limitation de bande (voir la Figure B.6)**

Il s'agit d'une connexion utilisant des appareils téléphoniques de référence à quatre fils, permettant la commande de l'effet local. Le STMR est maintenu à 20 dB, niveau auquel la plupart des abonnés ne le détectent pas.

Une telle connexion peut servir à étudier les effets de dégradations particulières de la transmission que l'on fait varier indépendamment les unes des autres. Ici, elle a servi à montrer l'effet exercé par le niveau du bruit de circuit injecté et par la limitation de bande (passe-bas) sur l'effort à l'écoute et sur les notes d'opinion relatives à la conversation; les mesures ont été effectuées dans une gamme d'affaiblissements susceptibles de se produire dans les réseaux téléphoniques.

Comme précédemment, la courbe se borne à relier les points calculés.

### **B.8 HRC 7 – Calculs multiples avec choix aléatoire d'éléments (voir la Figure B.7)**

CATNAP est conçu pour faciliter l'évaluation des propositions relatives au réseau téléphonique, et non pas l'évaluation de connexions individuelles. Le programme peut procéder à de multiples calculs sur un groupe de connexions ou sur une seule connexion, avec choix aléatoire d'éléments tirés d'une banque de données.

Ici, le choix aléatoire porte sur les lignes d'abonné dont les caractéristiques sont enregistrées dans une banque où sont rassemblées des données sur 1800 lignes existantes. On peut ainsi tester la qualité de transmission d'un élément particulier pour toute une gamme de conditions susceptibles de se produire dans le réseau réel. Puisque l'étude reflète la distribution des longueurs et des diamètres dans le réseau réel, cette méthode d'évaluation donne une image plus exacte de la qualité de transmission dans le réseau existant.

Dans le cas de cet exemple, un nombre restreint de calculs ont servi à la démonstration et les résultats ont pu être imprimés. Cela est impossible quand les calculs sont nombreux; les résultats sont alors mis en mémoire pour être traités comme on le désire, par exemple en établissant la courbe de distribution ou en procédant à une analyse statistique.

Le numéro de la ligne et la distance radiale ont été indiqués pour les deux extrémités de chaque calcul.

### **B.9 HRC 8 – Exemple de l'emploi de CATNAP pour répondre à un critère de conception (voir la Figure B.8)**

Il s'agit là d'un exemple de l'emploi du programme CATNAP pour concevoir les composants individuels d'un réseau afin de répondre à des objectifs nominaux.

L'introduction d'équipements téléphoniques électroniques donne au concepteur une plus grande latitude de choix en ce qui concerne les valeurs des caractéristiques de l'appareil téléphonique, par exemple, la valeur de l'impédance de la ligne qui doit être connectée à l'appareil téléphonique pour assurer l'entière suppression de l'effet local ( $Z_{so}$ ).

Par itération, on peut obtenir les valeurs préférées de  $Z_{so}$ . Par exemple, des calculs ont été effectués pour un appareil BT 706 classique et pour un appareil 706, avec certaines valeurs suggérées de  $Z_{so}$  sur des longueurs limites BT de câble local à conducteurs de cuivre de diamètre normalisé, ainsi qu'avec une longueur moyenne de câble à 0,5 mm. Pour l'une des séries expérimentales de valeurs qui paraissent possibles d'après les résultats obtenus, et pour un appareil 706 classique, on a procédé à un jeu de 40 calculs avec choix aléatoire de lignes locales dans une banque de données couvrant les 1800 lignes utilisées pour HRC 7. Les résultats sont exprimés sous forme de la moyenne et de l'écart type de la distribution du STMR. On peut voir que les valeurs suggérées donnent en moyenne une meilleure qualité de transmission, même si cette qualité se dégrade sur les lignes limites à 0,63 mm et à 0,9 mm qui sont moins fréquemment utilisées dans le réseau local que les lignes à 0,5 mm.

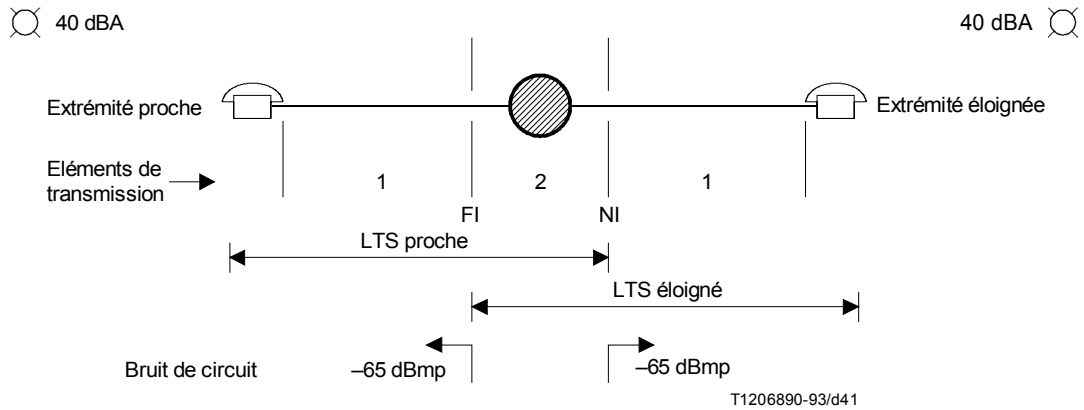
Comme outil de conception, le programme peut en outre servir à vérifier les améliorations de la qualité de transmission, à contrôler les effets des tolérances et à envisager d'éventuelles améliorations des valeurs de celles-ci.

### **B.10 HRC 9 – Effet de la variation de la longueur de la ligne (voir la Figure B.9)**

HRC 9 est identique à HRC 2, sauf en ce qui concerne le diamètre du câble. Dans ce cas, on utilise un câble à conducteurs de cuivre de 0,63 mm. La longueur du câble varie de 0 à 10 km, ce qui dépasse la longueur limite de British Telecom (7,2 km).

Les résultats sont représentés par des courbes qui donnent les notes d'opinion de conversation, les valeurs de l'OLR et la tension vocale en fonction de la longueur de la ligne. Comme auparavant, la courbe relie simplement les points calculés.

Les calculs effectués dans ce cas sont présentés pour démontrer la possibilité d'utilisation «inverse» du programme CATNAP. On connaît (à partir du plan de transmission) les limites imposées à l'OLR; les passages par ordinateur peuvent en conséquence servir à indiquer la gamme des longueurs de câble acceptables. La possibilité de calculer la qualité de transmission d'après les notes d'opinion permet de spécifier des limites de qualité de transmission plus proches de la réalité que des limites de qualité établies d'après les équivalents pour la sonie.



#### Eléments de transmission

Appareils téléphoniques du type BT n° 706

- 1 Câble non chargé 1,6 km de 0,5 mm (168  $\Omega$ /km, 50 nF/km)
- 2 Pont d'alimentation de Stone ( $2 \times 200 \Omega$ ,  $2 + 2 \mu F$ , 50 V)

|                         |           |       |       |   |        |
|-------------------------|-----------|-------|-------|---|--------|
| <i>Extrémité proche</i> | <i>IL</i> | =     | 64    |   |        |
| STMR                    | =         | 9,02  | SLR   | = | 4,76   |
| RLR                     | =         | -5,15 | OLR   | = | -0,27  |
| $Y_{LE}$                | =         | 3,48  | $V_L$ | = | -18,24 |
| $Y_C$                   | =         | 3,15  | $V_C$ | = | -22,69 |
| RN                      | =         | 40,00 | ICN   | = | -65,00 |

|           |   |        |                           |   |       |
|-----------|---|--------|---------------------------|---|-------|
| <i>IL</i> | = | 64     | <i>Extrémité éloignée</i> |   |       |
| OLR       | = | -0,27  | RLR                       | = | -5,15 |
| SLR       | = | 4,76   | STMR                      | = | 9,02  |
| $V_L$     | = | -18,24 | $Y_{LE}$                  | = | 3,48  |
| $V_C$     | = | -22,69 | $Y_C$                     | = | 3,15  |
| ICN       | = | -65,00 | RN                        | = | 40,00 |

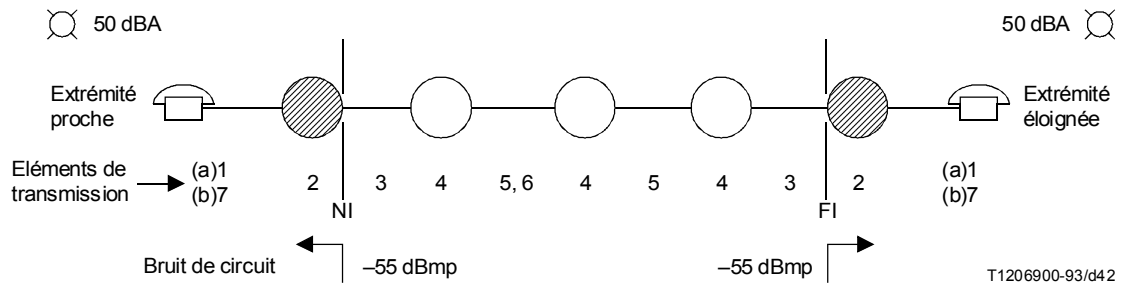
|           |  |
|-----------|--|
| <i>IL</i> | Courant de ligne (mA)  |
| SLR       | Equivalent pour la sonie à l'émission (dB)   |
| RLR       | Equivalent pour la sonie à la réception (dB)   |
| OLR       | Equivalent global pour la sonie (dB)   |
| STMR      | Affaiblissement d'effet local par la méthode de masquage (dB)  |
| $Y_{LE}$  | Note d'effort à l'écoute   |
| $Y_C$     | Note d'opinion sur la conversation   |
| $V_L$     | Tension vocale à l'interface (dBV) dans des conditions de parole contrôlée                                   |
| $V_C$     | Tension vocale à l'interface (dBV) dans les conditions de la conversation                                    |
| RN        | Niveau de bruit de salle ( <i>room environmental noise</i> ) (dBA), spectre de Hoth                          |
| ICN       | Niveau du bruit de circuit injecté ( <i>injected circuit noise</i> ) rapporté à un RLR de 0 dB à l'extrémité |
| NI        | Interface proche ( <i>near interface</i> )   |
| FI        | Interface éloignée ( <i>far interface</i> )  |
| LTS       | Système téléphonique local ( <i>local telephone system</i> )   |

#### NOTES

- 1 Le bruit de salle a un spectre de Hoth.
- 2 L'OLR de la colonne de gauche est de proche à éloigné et celui de la colonne de droite d'éloigné à proche.

FIGURE B.1

### HRC 1 – Communication dans la zone du même commutateur



T1206900-93/d42

*Éléments de transmission*

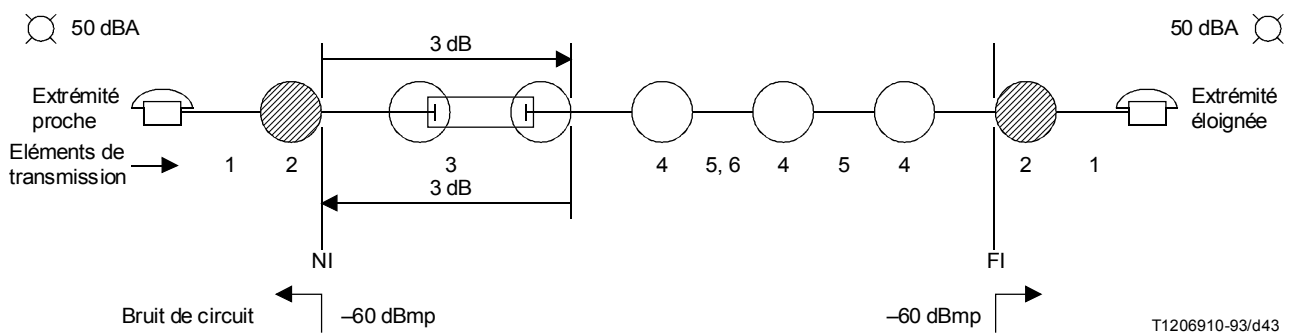
Appareils téléphoniques du type BT n° 706

- 1 Câble non chargé 6 km de 0,5 mm (168  $\Omega$ /km, 50 nF/km)
- 2 Pont d'alimentation de Stone ( $2 \times 200 \Omega$ ,  $2 + 2 \mu F$ , 50 V)
- 3 Jonction chargée 19,6 km de 0,9 mm, 88 mH, pas: 1,83 km
- 4 Pont d'alimentation à transformateur (50 V)
- 5 Affaiblissement 3,5 dB, indépendant de la fréquence, 600  $\Omega$
- 6 Filtrage de voie 300 Hz à 3400 Hz, 600  $\Omega$
- 7 Câble non chargé 10 km de 0,9 mm (55  $\Omega$ /km, 50 nF/km)

|                         |                |                |                           |
|-------------------------|----------------|----------------|---------------------------|
| <i>Extrémité proche</i> | <i>IL</i> = 32 | <i>IL</i> = 32 | <i>Extrémité éloignée</i> |
| STMR = 11,19            | SLR = 8,21     | OLR = 25,07    | RLR = -1,32               |
| RLR = -1,32             | OLR = 25,07    | SLR = 8,21     | STMR = 11,19              |
| $Y_{LE}$ = 1,98         | $V_L$ = -21,40 | $V_L$ = -21,40 | $Y_{LE}$ = 1,98           |
| $Y_C$ = 1,86            | $V_C$ = -22,46 | $V_C$ = -22,46 | $Y_C$ = 1,86              |
| RN = 50,00              | ICN = -55,00   | ICN = -55,00   | RN = 50,00                |
| <i>Extrémité proche</i> | <i>IL</i> = 50 | <i>IL</i> = 50 | <i>Extrémité éloignée</i> |
| STMR = -0,14            | SLR = 6,62     | OLR = 24,04    | RLR = -2,05               |
| RLR = -2,05             | OLR = 24,04    | SLR = 6,62     | STMR = -0,14              |
| $Y_{LE}$ = 1,72         | $V_L$ = -19,75 | $V_L$ = -19,75 | $Y_{LE}$ = 1,72           |
| $Y_C$ = 0,81            | $V_C$ = -21,52 | $V_C$ = -21,52 | $Y_C$ = 0,81              |
| RN = 50,00              | ICN = -55,00   | ICN = -55,00   | RN = 50,00                |

FIGURE B.2

**HRC 2 – Communication nationale limite**



*Eléments de transmission*

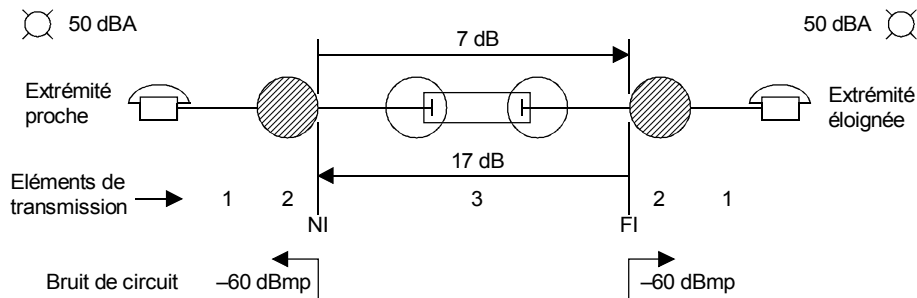
Appareils téléphoniques du type BT n° 706

- 1 Câble non chargé 1,6 km de 0,5 mm (168  $\Omega$ /km, 50 nF/km)
- 2 Pont d'alimentation de Stone ( $2 \times 200 \Omega$ ,  $2 + 2 \mu\text{F}$ , 50 V)
- 3 Système MIC 3 dB jusqu'à 3,4 kHz, 600  $\Omega$
- 4 Pont d'alimentation du transformateur (50 V)
- 5 Affaiblissement 3,5 dB, indépendant de la fréquence, 600  $\Omega$
- 6 Filtrage de voie 300 Hz à 3400 Hz, 600  $\Omega$

|                         |                |                |                           |
|-------------------------|----------------|----------------|---------------------------|
| <i>Extrémité proche</i> | $IL = 64$      | $IL = 64$      | <i>Extrémité éloignée</i> |
| STMR = 9,31             | SLR = 4,95     | OLR = 13,38    | RLR = -4,95               |
| RLR = -4,95             | OLR = 13,38    | SLR = 4,95     | STMR = 8,55               |
| $Y_{LE} = 3,34$         | $V_L = -18,60$ | $V_L = -18,60$ | $Y_{LE} = 3,34$           |
| $Y_C = 2,73$            | $V_C = -22,19$ | $V_C = -22,45$ | $Y_C = 2,75$              |
| RN = 50,00              | ICN = -60,00   | ICN = -60,00   | RN = 50,00                |

FIGURE B.3

**HRC 3 – Communication à grande distance avec jonction MIC**

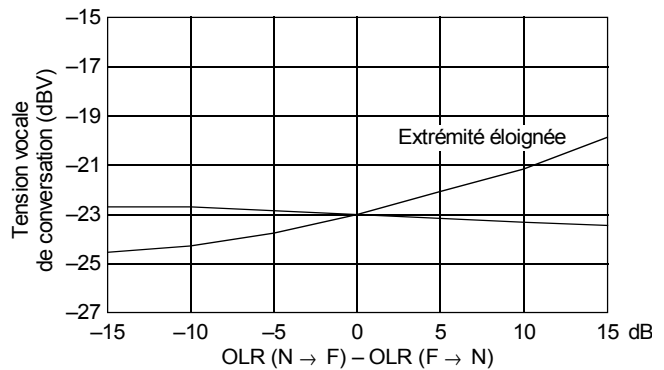
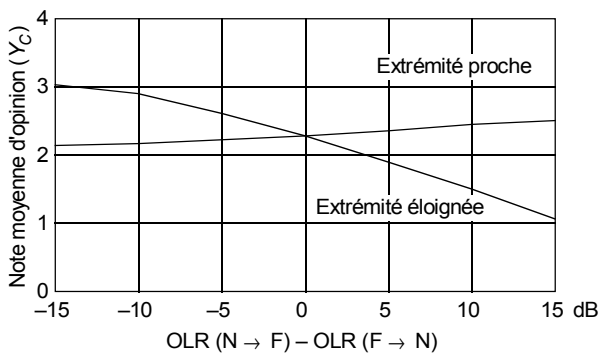


**Éléments de transmission**

Appareils téléphoniques du type BT n° 706

- 1 Câble non chargé 6 km de 0,5 mm (168 Ω/km, 50 nF/km)
- 2 Pont d'alimentation de Stone (2 × 200 Ω, 2 + 2 μF, 50 V)
- 3 Système MRF, affaiblissement indiqué jusqu'à 3400 Hz, 600 Ω

|                         |                |                |                           |
|-------------------------|----------------|----------------|---------------------------|
| <i>Extrémité proche</i> | <i>IL</i> = 32 | <i>IL</i> = 32 | <i>Extrémité éloignée</i> |
| STMR = 13,89            | SLR = 8,21     | OLR = 14,35    | RLR = -1,31               |
| RLR = -1,31             | OLR = 24,22    | SLR = 8,21     | STMR = 13,89              |
| $Y_{LE}$ = 2,62         | $V_L$ = -21,40 | $V_L$ = -21,40 | $Y_{LE}$ = 3,40           |
| $Y_C$ = 2,18            | $V_C$ = -22,69 | $V_C$ = -24,22 | $Y_C$ = 2,90              |
| RN = 50,00              | ICN = -60,00   | ICN = -60,00   | RN = 50,00                |



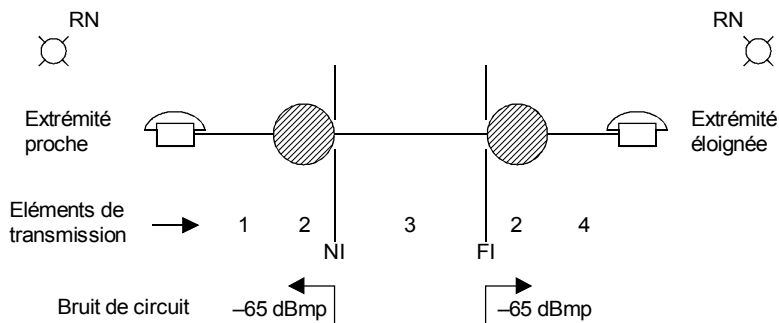
T1206930-93/d44

NOTE – Les résultats représentés par les courbes concernent la même connexion avec, dans le système MDF, affaiblissement de proche (N) à éloigné (F) variant de 2 dB à 32 dB. L'affaiblissement d'éloigné à proche était maintenu à 17 dB.

FIGURE B.4

**HRC 4 – Effets de l'asymétrie d'affaiblissement de transmission**





**Éléments de transmission**

Appareils téléphoniques du type BT n° 706

- 1 Câble non chargé 10 km de 0,9 mm (55  $\Omega$ /km, 50 nF/km)
- 2 Pont d'alimentation de Stone (2  $\times$  200  $\Omega$ , 2 + 2  $\mu$ F, 50 V)
- 3 Affaiblissement 20 dB, indépendant de la fréquence, 600  $\Omega$
- 4 Câble non chargé 6 km de 0,5 mm (168  $\Omega$ /km, 50 nF/km)

|                         |                |                |                           |
|-------------------------|----------------|----------------|---------------------------|
| <i>Extrémité proche</i> | <i>IL</i> = 50 | <i>IL</i> = 32 | <i>Extrémité éloignée</i> |
| STMR = 0,28             | SLR = 6,62     | OLR = 24,69    | RLR = -1,32               |
| RLR = -2,04             | OLR = 25,53    | SLR = 8,82     | STMR = 13,66              |
| $Y_{LE}$ = 2,63         | $V_L$ = -19,75 | $V_L$ = -21,40 | $Y_{LE}$ = 2,87           |
| $Y_C$ = 2,17            | $V_C$ = -24,83 | $V_C$ = -22,67 | $Y_C$ = 2,17              |
| RN = 40,00              | ICN = -65,00   | ICN = -65,00   | RN = 40,00                |

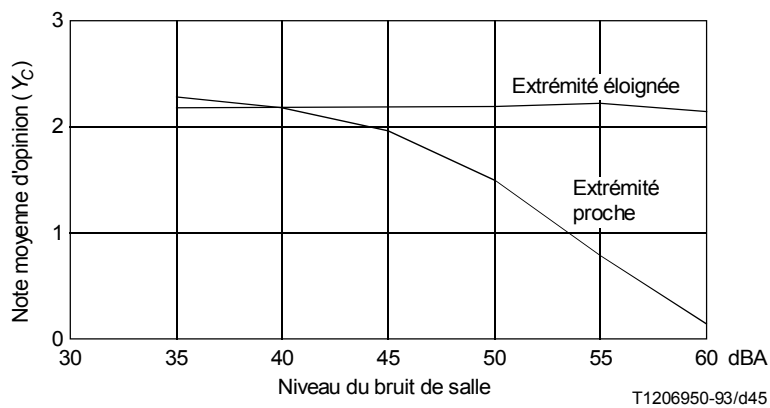
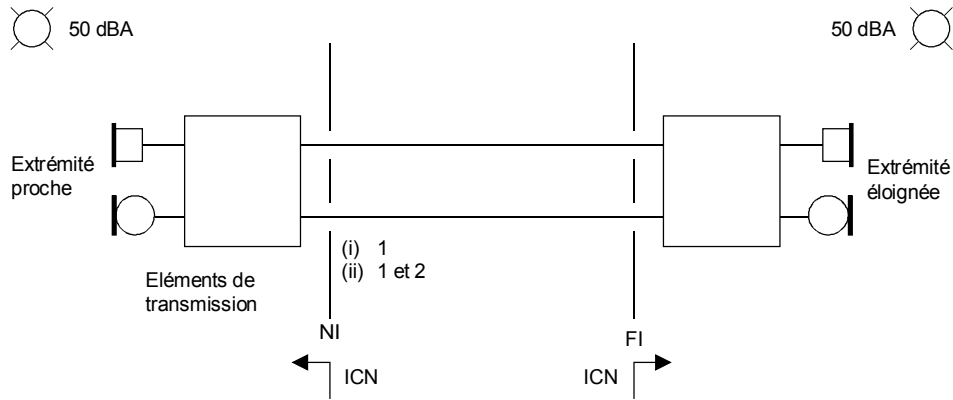


FIGURE B.5

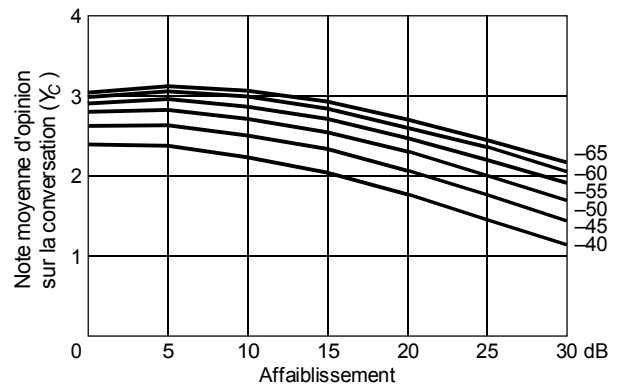
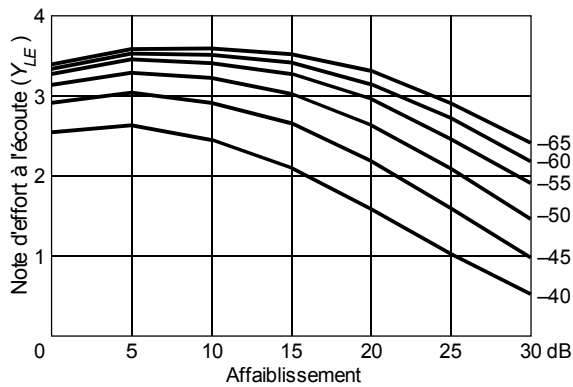
**HRC 5 – Effets du niveau de bruit de salle**



**Eléments de transmission**

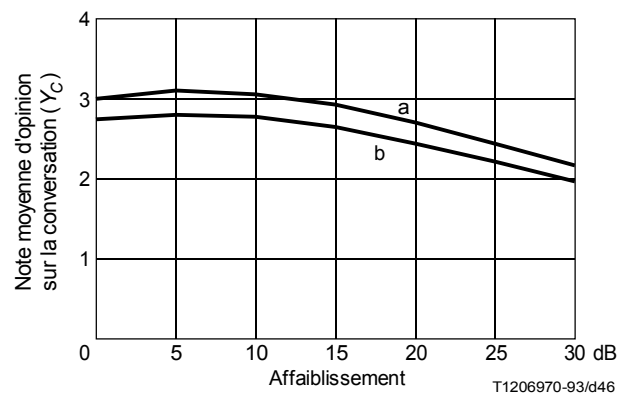
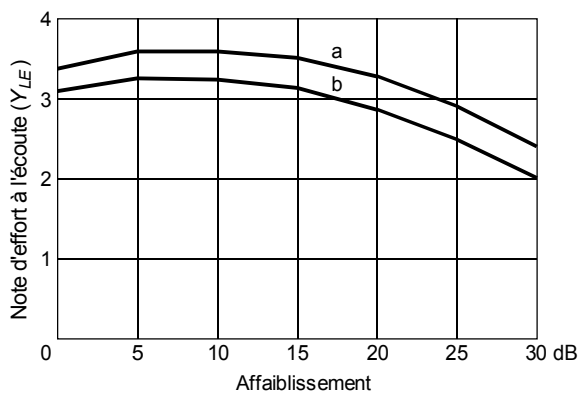
Appareils téléphoniques: systèmes de référence intermédiaires (conformément à la Recommandation P.48), avec STMR = 20 dB pour le trajet d'effet local.

- 1 Affaiblissement 0 à 30 dB, indépendant de la fréquence, 600 Ω
- 2 Filtrage 600 Ω, a) 0-3,55 kHz  
b) 0-2,80 kHz



NOTE – Ces courbes montrent l'effet exercé sur  $Y_{LE}$  et  $Y_C$  par un changement de niveau du bruit de circuit injecté de -65 dBmp à -40 dBmp, rapporté à un RLR de 0 dB.

**a) Effets du niveau de bruit injecté et de l'affaiblissement global sur les notes d'effort à l'écoute et d'opinion sur la conversation**

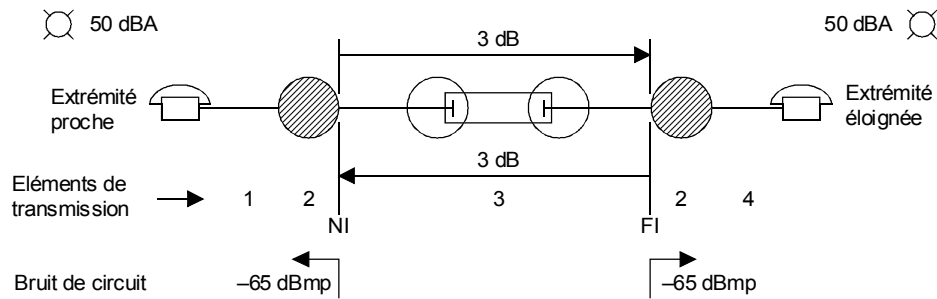


NOTE – Ces courbes montrent l'effet de la limitation de bande avec des filtres passe-bas idéaux.

**b) Effets de la limitation de bande (filtre passe-bas) et de l'affaiblissement sur les notes d'effort à l'écoute et d'opinion sur la conversation**

FIGURE B.6

**HRC 6 – Effets du niveau de bruit injecté et de la limitation de bande**



T1206980-93/d47

**Eléments de transmission**

Appareils téléphoniques du type BT n° 706

- 1 Ligne: choix aléatoire dans un échantillon de 1800 lignes d'abonné existantes
- 2 Pont d'alimentation de Stone ( $2 \times 200 \Omega$ ,  $2 + 2 \mu F$ , 50 V)
- 3 Système MIC,  $600 \Omega$ , 3 dB
- 4 Ligne: choix aléatoire d'une ligne dans le même échantillon de 1800 lignes qu'au point 1 ci-dessus

| Ligne 43 (1,3 km)       |                 |          | Ligne 121 (0,9 km) |          |                           |         |
|-------------------------|-----------------|----------|--------------------|----------|---------------------------|---------|
| <i>Extrémité proche</i> | <i>IL</i>       | = 64     | <i>IL</i>          | = 64     | <i>Extrémité éloignée</i> |         |
| STM <sub>R</sub>        | SL <sub>R</sub> | = 5,45   | OL <sub>R</sub>    | = 4,77   | RL <sub>R</sub>           | = -4,44 |
| RL <sub>R</sub>         | OL <sub>R</sub> | = 4,77   | SL <sub>R</sub>    | = 5,47   | STM <sub>R</sub>          | = 8,59  |
| $Y_{LE}$                | $V_L$           | = -19,07 | $V_L$              | = -19,11 | $Y_{LE}$                  | = 3,57  |
| $Y_C$                   | $V_C$           | = -22,96 | $V_C$              | = -23,56 | $Y_C$                     | = 3,07  |
| RN                      | ICN             | = -65,00 | ICN                | = -65,00 | RN                        | = 50,00 |

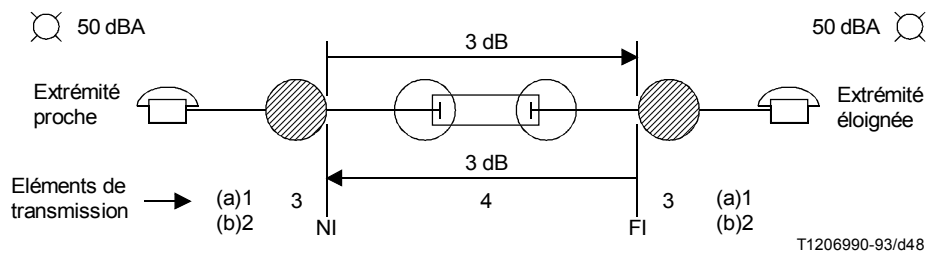
| Ligne 731 (0,3 km)      |                 |          | Ligne 87 (0,5 km) |          |                           |         |
|-------------------------|-----------------|----------|-------------------|----------|---------------------------|---------|
| <i>Extrémité proche</i> | <i>IL</i>       | = 75     | <i>IL</i>         | = 64     | <i>Extrémité éloignée</i> |         |
| STM <sub>R</sub>        | SL <sub>R</sub> | = 4,08   | OL <sub>R</sub>   | = 2,42   | RL <sub>R</sub>           | = -5,41 |
| RL <sub>R</sub>         | OL <sub>R</sub> | = 2,53   | SL <sub>R</sub>   | = 4,50   | STM <sub>R</sub>          | = 6,77  |
| $Y_{LE}$                | $V_L$           | = -17,46 | $V_L$             | = -18,16 | $Y_{LE}$                  | = 3,50  |
| $Y_C$                   | $V_C$           | = -22,29 | $V_C$             | = -23,13 | $Y_C$                     | = 3,06  |
| RN                      | ICN             | = -65,00 | ICN               | = -65,00 | RN                        | = 50,00 |

| Ligne 4 (2,0 km)        |                 |          | Ligne 776 (0,9 km) |          |                           |         |
|-------------------------|-----------------|----------|--------------------|----------|---------------------------|---------|
| <i>Extrémité proche</i> | <i>IL</i>       | = 50     | <i>IL</i>          | = 75     | <i>Extrémité éloignée</i> |         |
| STM <sub>R</sub>        | SL <sub>R</sub> | = 4,05   | OL <sub>R</sub>    | = 2,45   | RL <sub>R</sub>           | = -5,38 |
| RL <sub>R</sub>         | OL <sub>R</sub> | = 3,54   | SL <sub>R</sub>    | = 4,45   | STM <sub>R</sub>          | = 7,28  |
| $Y_{LE}$                | $V_L$           | = -17,84 | $V_L$              | = -17,83 | $Y_{LE}$                  | = 3,47  |
| $Y_C$                   | $V_C$           | = -23,53 | $V_C$              | = -22,60 | $Y_C$                     | = 3,03  |
| RN                      | ICN             | = -65,00 | ICN                | = -65,00 | RN                        | = 50,00 |

| Ligne 1018 (2,2 km)     |                 |          | Ligne 1647 (2,5 km) |          |                           |         |
|-------------------------|-----------------|----------|---------------------|----------|---------------------------|---------|
| <i>Extrémité proche</i> | <i>IL</i>       | = 50     | <i>IL</i>           | = 40     | <i>Extrémité éloignée</i> |         |
| STM <sub>R</sub>        | SL <sub>R</sub> | = 3,41   | OL <sub>R</sub>     | = 4,37   | RL <sub>R</sub>           | = -2,72 |
| RL <sub>R</sub>         | OL <sub>R</sub> | = 4,59   | SL <sub>R</sub>     | = 6,18   | STM <sub>R</sub>          | = 8,94  |
| $Y_{LE}$                | $V_L$           | = -17,17 | $V_L$               | = -19,54 | $Y_{LE}$                  | = 3,56  |
| $Y_C$                   | $V_C$           | = -21,42 | $V_C$               | = -23,88 | $Y_C$                     | = 3,07  |
| RN                      | ICN             | = -65,00 | ICN                 | = -65,00 | RN                        | = 50,00 |

FIGURE B.7

**HRC 7 – Exemple avec choix aléatoire de lignes d'abonné**



*Éléments de transmission*

Appareils téléphoniques du type BT n° 706 avec les valeurs de  $Z_{SO}$  modifiées selon les besoins

- 1 Câble non chargé: comme spécifié ci-dessous
- 2 Ligne: choix aléatoire dans un échantillon de 1800 lignes d'abonné existantes
- 3 Pont d'alimentation de Stone ( $2 \times 200 \Omega$ ,  $2 + 2 \mu F$ , 50 V)
- 4 Système MIC  $600 \Omega$ , 3 dB

NOTE – Voir également les Tableaux B.1 et B.2.

FIGURE B.8

**HRC 8 – Exemple d'application du programme CATNAP lors de la conception**

TABLEAU B.1

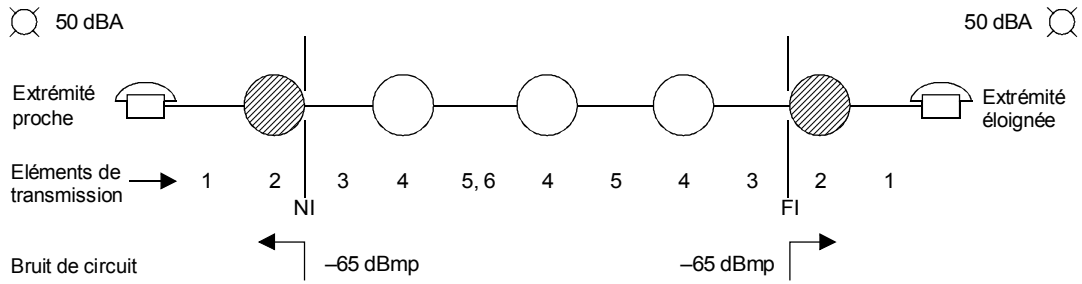
**Valeurs du STMR (dB) pour des lignes spécifiées (conducteurs de cuivre)**

| $Z_{SO}$               | 1,6 km<br>0,5 mm<br>(médiane) | 6 km<br>0,5 mm | 3,7 km<br>0,4 mm | 7,2 km<br>0,63 mm | 10 km<br>0,9 mm |
|------------------------|-------------------------------|----------------|------------------|-------------------|-----------------|
|                        | <-----(Limite)----->          |                |                  |                   |                 |
| 706                    | 9,9                           | 15,7           | 7,2              | 7,5               | 0,0             |
| Conjugué de l'entrée Z | 1,8                           | 1,1            | 0,6              | -0,2              | -0,6            |
| 600 $\Omega$           | 6,6                           | -0,8           | -1,2             | -2,0              | -3,0            |
| Valeurs suggérées      | 10,2                          | 13,4           | 13,8             | 4,4               | -1,3            |

TABLEAU B.2

**Distribution du STMR pour un échantillon de 40 lignes avec l'appareil 706 classique et avec les valeurs suggérées de  $Z_{SO}$**

| $Z_{SO}$          | Moyenne | Ecart type | Valeur maximale | Valeur minimale |
|-------------------|---------|------------|-----------------|-----------------|
| 706               | 8,3     | $\pm 2,5$  | 14,1            | 3,8             |
| Valeurs suggérées | 9,4     | $\pm 3,1$  | 17,9            | 4,2             |



*Éléments de transmission*

Appareils téléphoniques du type BT n° 706

- 1 Câble non chargé 0 à 10 km de 0,63 mm (109  $\Omega$ /km, 50 nF/km)
- 2 Pont d'alimentation de Stone ( $2 \times 200 \Omega$ ,  $2 + 2 \mu F$ , 50 V)
- 3 Jonction chargée 19,6 km de 0,9 mm, 88 mH, 1,83 km
- 4 Pont d'alimentation du transformateur (50 V)
- 5 Affaiblissement 3,5 dB, indépendant de la fréquence, 600  $\Omega$
- 6 Filtrage de voie 300 Hz à 3400 Hz, 600  $\Omega$

NOTE – Les résultats sont indiqués par les courbes ci-après.

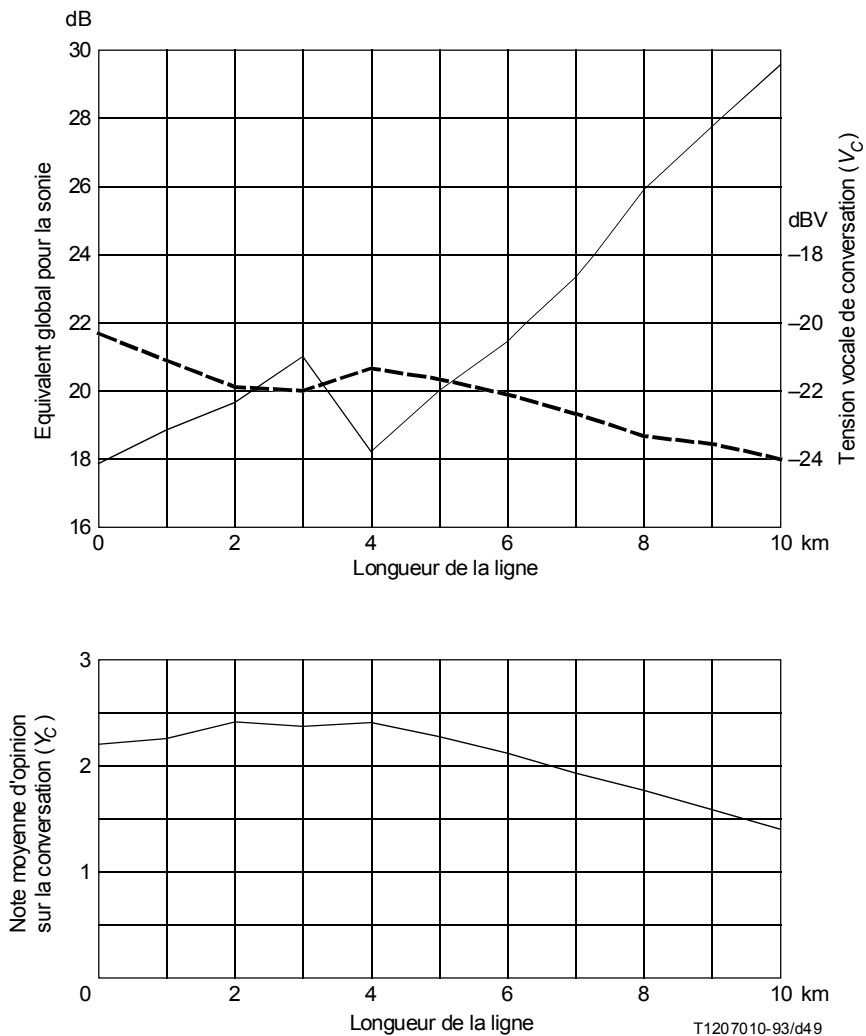


FIGURE B.9

HRC 9 – Effets de la variation de la longueur de la ligne

**Annexe C**  
(au paragraphe 4.3.1.2)

**Calcul du spectre de bruit**

Il est nécessaire que la valeur d'échelle de bruit soit transformée en valeurs spectrales à la fois pour le bruit de salle et le bruit de circuit (voir la Figure 4.4). On trouvera au Tableau C.1 la base de données des valeurs de spectre  $R_N$  (60 dBA) et de  $V_c$  (-56,0 dBmp). La valeur de bruit de salle est tirée de la Figure 2/P.45 [40] et de la Figure A.1/P.80. La valeur de  $V_c$  est un mélange de bruit de circuit et de bruit du centre de commutation. Ces valeurs s'expriment, respectivement, par un bruit de spectre continu et uniforme et par un bruit à -8 dB/octave. Si, seulement, un niveau de bruit d'échelle est connu comme une condition d'essai alors que sa valeur de spectre n'est pas connue, on utilise le spectre de bruit mixte dans le modèle OPINE, où le bruit à -8 dB/octave est de 10 dB inférieur au bruit à spectre continu et uniforme. De plus, des caractéristiques du système de référence pour la détermination des affaiblissements équivalents pour la netteté (SRAEN) sont ajoutées à celles du bruit de spectre continu et uniforme.

TABLEAU C.1

**Valeur du spectre de bruit utilisée dans le modèle OPINE**

|    |           | $R_N = 60 \text{ dBA}$              |                                  | $V_C = -56,0 \text{ dBmp}$ |  |
|----|-----------|-------------------------------------|----------------------------------|----------------------------|--|
| N° | Fréquence | $B_{RNi}$                           | $V_{\text{plat}} + \text{SRAEN}$ | $V_{-8/\text{oct}}$        | $V_{CQi} =$<br>$V_{\text{plat}} (+) V_{-8/\text{oct}}$ |
|    | (Hz)      | (dB)<br>20 $\mu\text{Pa}/\text{Hz}$ | (dBV/Hz)                         | (dBV/Hz)                   | (dBV/Hz)   |
| 1  | 100       | 42,07                               | -112,91                          | -75,25                     | -75,25   |
| 2  | 125       | 40,67                               | -102,61                          | -77,95                     | -77,93   |
| 3  | 160       | 39,07                               | -98,11                           | -80,55                     | -80,47   |
| 4  | 200       | 37,37                               | -96,81                           | -83,25                     | -83,06   |
| 5  | 250       | 35,87                               | -95,21                           | -85,95                     | -85,46   |
| 6  | 315       | 34,37                               | -93,31                           | -88,55                     | -87,29   |
| 7  | 400       | 32,87                               | -92,41                           | -91,25                     | -88,78   |
| 8  | 500       | 31,17                               | -91,91                           | -93,85                     | -89,76   |
| 9  | 630       | 29,57                               | -91,51                           | -96,55                     | -90,32   |
| 10 | 800       | 27,87                               | -91,21                           | -99,25                     | -90,57   |
| 11 | 1000      | 26,37                               | -91,21                           | -101,95                    | -90,86   |
| 12 | 1250      | 24,77                               | -91,21                           | -104,55                    | -91,01   |
| 13 | 1600      | 23,07                               | -91,11                           | -107,25                    | -91,00   |
| 14 | 2000      | 21,37                               | -91,01                           | -109,95                    | -90,95   |
| 15 | 2500      | 19,57                               | -91,01                           | -112,55                    | -90,98   |
| 16 | 3150      | 17,37                               | -91,21                           | -115,25                    | -91,19   |
| 17 | 4000      | 14,87                               | -178,71                          | -117,95                    | -117,95  |
| 18 | 5000      | 12,17                               | -291,21                          | -120,55                    | -120,55  |
| 19 | 6300      | 9,37                                | -291,21                          | -123,25                    | -123,25  |
|    |           |                                     | -56,4<br>dBmp                    | -66,4<br>dBmp              |  |

**Annexe D**  
(au paragraphe 4.3.3)

**Exemples de calcul de la MOS**

Les conditions d'essai examinées dans le présent document sont celles d'un circuit téléphonique local avec poste téléphonique NTT type 600 et ligne d'abonné de 0,4 mm, 7 dB. Les données d'entrée concernant le circuit téléphonique local (LTC) (*local telephone circuit*) sont spécifiées au Tableau D.1. A ce sujet, SLR = 6,6 dB et RLR = -3,8 dB. Les conditions d'essai et les résultats des calculs des facteurs fondamentaux sont représentés au Tableau D.2.

La Figure D.1 représente les résultats du calcul électroacoustique global (voir 4.3.1) dans la condition d'essai n° 11 du Tableau D.2, où OLR est égal à 6,4 dB.

TABLEAU D.1

**Efficacité du circuit téléphonique local**  
**(Poste téléphonique NTT type 600 avec ligne d'abonné 0,4 mm, 7 dB)**

| N° | Fréquence | $S_{MJi}$        | $S_{JEi}$        | $L_{MESTi}$ | $L_{RNSTi}$ |
|----|-----------|------------------|------------------|-------------|-------------|
|    | (Hz)      | (dB)<br>rel V/Pa | (dB)<br>rel Pa/V | (dB)        | (dB)        |
| 1  | 100       | -22,3            | -40,0            | 5,3         | 28,6        |
| 2  | 125       | -25,1            | -2,7             | 6,7         | 26,3        |
| 3  | 160       | -23,8            | 2,5              | 5,0         | 20,8        |
| 4  | 200       | -18,8            | 7,3              | 2,3         | 14,1        |
| 5  | 250       | -14,4            | 11,3             | -3,0        | 5,6         |
| 6  | 315       | -12,3            | 14,6             | -6,4        | -1,3        |
| 7  | 400       | -12,5            | 15,9             | -5,6        | -1,8        |
| 8  | 500       | -12,6            | 15,7             | -3,6        | -0,3        |
| 9  | 630       | -12,3            | 14,9             | -2,1        | 2,8         |
| 10 | 800       | -11,9            | 14,4             | -0,4        | 3,9         |
| 11 | 1000      | -11,6            | 14,5             | 0,1         | 3,4         |
| 12 | 1250      | -12,0            | 14,8             | 0,0         | 3,1         |
| 13 | 1600      | -12,0            | 14,1             | 0,1         | 0,1         |
| 14 | 2000      | -9,8             | 14,4             | -3,3        | -2,1        |
| 15 | 2500      | -10,0            | 16,2             | -5,0        | 3,4         |
| 16 | 3150      | -11,0            | 11,5             | 2,7         | 15,0        |
| 17 | 4000      | -16,8            | 8,9              | 11,1        | 22,3        |
| 18 | 5000      | -27,9            | -30,0            | 28,1        | 35,1        |
| 19 | 6300      | -32,0            | -30,0            | 32,7        | 35,3        |

TABLEAU D.2

## Exemple d'estimation des facteurs fondamentaux par le modèle OPINE

| Conditions d'essai<br>(STMR = 7,1 dB) |                      |                |                               |                                   |  | Conversion en<br>entrée OPINE |             |                 | Résultat  |        |           |           |      |      |
|---------------------------------------|----------------------|----------------|-------------------------------|-----------------------------------|--|-------------------------------|-------------|-----------------|-----------|--------|-----------|-----------|------|------|
| N°                                    | Bruit<br>OLR<br>(dB) | $R_N$<br>(dBA) | Bruit<br>de circuit<br>(dBmp) | Bruit de<br>commutation<br>(dBmp) | Caractéris-<br>tiques de<br>fréquence<br>(Tableau D.3) | OLR<br>(dB)                   | $L$<br>(dB) | $V_C$<br>(dBmp) | $PI_{EL}$ | $PI_N$ | $PI_{AD}$ | $PI_{ST}$ | OPI  | MOS  |
| 1                                     | -3,8                 | 0              |                               |                                   | 1  | -3,6                          | -7,3        | -95,1           | 0,63      | 0,00   | 0,19      | 0,15      | 0,97 | 2,58 |
| 2                                     | 1,2                  | 0              |                               |                                   | 1  | 1,4                           | -2,3        | -95,1           | 0,23      | 0,00   | 0,10      | 0,15      | 0,49 | 3,04 |
| 3                                     | 6,2                  | 0              |                               |                                   | 1  | 6,4                           | 2,7         | -95,1           | 0,03      | 0,00   | 0,09      | 0,15      | 0,27 | 3,23 |
| 4                                     | 11,2                 | 0              |                               |                                   | 1  | 11,4                          | 7,7         | -95,1           | 0,40      | 0,00   | 0,12      | 0,15      | 0,67 | 2,88 |
| 5                                     | 16,2                 | 0              |                               |                                   | 1  | 16,4                          | 12,7        | -95,1           | 0,80      | 0,00   | 0,08      | 0,15      | 1,03 | 2,52 |
| 6                                     | 21,2                 | 0              |                               |                                   | 1  | 21,4                          | 17,7        | -95,1           | 1,20      | 0,00   | 0,04      | 0,15      | 1,40 | 2,16 |
| 7                                     | 26,2                 | 0              |                               |                                   | 1  | 26,4                          | 22,7        | -95,1           | 1,61      | 0,00   | 0,04      | 0,15      | 1,81 | 1,75 |
| 8                                     | 31,2                 | 0              |                               |                                   | 1  | 31,4                          | 27,7        | -95,1           | 2,02      | 0,00   | 0,02      | 0,15      | 2,20 | 1,37 |
| 9                                     | -3,8                 | 60             | -56,9                         | -62,2                             | 1  | -3,6                          | -7,3        | -55,8           | 0,56      | 0,21   | 0,19      | 0,15      | 1,12 | 2,44 |
| 10                                    | 1,2                  | 60             | -56,9                         | -62,2                             | 1  | 1,4                           | -2,3        | -55,8           | 0,14      | 0,21   | 0,10      | 0,15      | 0,61 | 2,93 |
| 11                                    | 6,2                  | 60             | -56,9                         | -62,2                             | 1  | 6,4                           | 2,7         | -55,8           | 0,15      | 0,21   | 0,09      | 0,15      | 0,60 | 2,94 |
| 12                                    | 11,2                 | 60             | -56,9                         | -62,2                             | 1  | 11,4                          | 7,7         | -55,8           | 0,60      | 0,21   | 0,12      | 0,15      | 1,08 | 2,48 |
| 13                                    | 16,2                 | 60             | -56,9                         | -62,2                             | 1  | 16,4                          | 12,7        | -55,8           | 1,09      | 0,21   | 0,08      | 0,15      | 1,54 | 2,02 |
| 14                                    | 21,2                 | 60             | -56,9                         | -62,2                             | 1  | 21,4                          | 17,7        | -55,8           | 1,62      | 0,21   | 0,04      | 0,15      | 2,03 | 1,53 |
| 15                                    | 26,2                 | 60             | -56,9                         | -62,2                             | 1  | 26,4                          | 22,7        | -55,8           | 2,21      | 0,23   | 0,04      | 0,15      | 2,64 | 0,95 |
| 16                                    | 31,2                 | 60             | -56,9                         | -62,2                             | 1  | 31,4                          | 27,7        | -55,8           | 2,87      | 0,26   | 0,02      | 0,15      | 3,30 | 0,41 |
| 17                                    | 1,2                  | 60             | -56,9                         |                                   | 1  | 1,4                           | -2,3        | -57,0           | 0,15      | 0,16   | 0,10      | 0,15      | 0,57 | 2,97 |
| 18                                    | 11,2                 | 60             | -56,9                         |                                   | 1  | 11,4                          | 7,7         | -57,0           | 0,59      | 0,16   | 0,12      | 0,15      | 1,02 | 2,53 |
| 19                                    | 21,2                 | 60             | -56,9                         |                                   | 1  | 21,4                          | 17,7        | -57,0           | 1,61      | 0,16   | 0,04      | 0,15      | 1,96 | 1,60 |
| 20                                    | 31,2                 | 60             | -56,9                         |                                   | 1  | 31,4                          | 27,7        | -57,0           | 2,84      | 0,21   | 0,02      | 0,15      | 3,23 | 0,47 |
| 21                                    | 1,2                  | 50             | -56,9                         | -62,2                             | 1  | 1,4                           | -2,3        | -55,8           | 0,17      | 0,21   | 0,10      | 0,15      | 0,64 | 2,90 |
| 22                                    | 11,2                 | 50             | -56,9                         | -62,2                             | 1  | 11,4                          | 7,7         | -55,8           | 0,53      | 0,21   | 0,12      | 0,15      | 1,01 | 2,54 |
| 23                                    | 21,2                 | 50             | -56,9                         | -62,2                             | 1  | 21,4                          | 17,7        | -55,8           | 1,48      | 0,21   | 0,04      | 0,15      | 1,89 | 1,67 |
| 24                                    | 31,2                 | 50             | -56,9                         | -62,2                             | 1  | 31,4                          | 27,7        | -55,8           | 2,59      | 0,22   | 0,02      | 0,15      | 2,99 | 0,65 |
| 25                                    | 1,2                  | 45             | -68,2                         | -68,2                             | 1  | 1,4                           | -2,3        | -65,2           | 0,20      | 0,02   | 0,10      | 0,15      | 0,48 | 3,05 |
| 26                                    | 13,2                 | 45             | -68,2                         | -68,2                             | 1  | 13,4                          | 9,7         | -65,2           | 0,63      | 0,02   | 0,12      | 0,15      | 0,92 | 2,63 |
| 27                                    | 26,2                 | 45             | -68,2                         | -68,2                             | 1  | 26,4                          | 22,7        | -65,2           | 1,80      | 0,02   | 0,04      | 0,15      | 2,02 | 1,55 |
| 28                                    | 1,2                  | 45             | -63,8                         | -68,2                             | 1  | 1,4                           | -2,3        | -62,5           | 0,20      | 0,04   | 0,10      | 0,15      | 0,50 | 3,03 |
| 29                                    | 13,2                 | 45             | -63,8                         | -68,2                             | 1  | 13,4                          | 9,7         | -62,5           | 0,65      | 0,04   | 0,12      | 0,15      | 0,96 | 2,60 |
| 30                                    | 26,2                 | 45             | -63,8                         | -68,2                             | 1  | 26,4                          | 22,7        | -62,5           | 1,84      | 0,04   | 0,04      | 0,15      | 2,07 | 1,49 |
| 31                                    | 2,2                  | 60             | -56,9                         | -62,2                             | 3  | 2,5                           | -2,4        | -55,8           | 0,07      | 0,21   | 0,28      | 0,15      | 0,72 | 2,83 |
| 32                                    | 12,2                 | 60             | -56,9                         | -62,2                             | 3  | 12,5                          | 7,6         | -55,8           | 0,69      | 0,21   | 0,20      | 0,15      | 1,25 | 2,30 |
| 33                                    | 22,2                 | 60             | -56,9                         | -62,2                             | 3  | 22,5                          | 17,6        | -55,8           | 1,71      | 0,21   | 0,12      | 0,15      | 2,19 | 1,37 |
| 34                                    | 32,2                 | 60             | -56,9                         | -62,2                             | 3  | 32,5                          | 27,6        | -55,8           | 2,95      | 0,26   | 0,04      | 0,15      | 3,41 | 0,35 |
| 35                                    | 4,1                  | 60             | -56,9                         | -62,2                             | 7  | 5,1                           | -2,3        | -55,8           | 0,02      | 0,21   | 0,45      | 0,15      | 0,84 | 2,71 |
| 36                                    | 14,1                 | 60             | -56,9                         | -62,2                             | 7  | 15,1                          | 7,7         | -55,8           | 0,89      | 0,21   | 0,31      | 0,15      | 1,57 | 1,99 |
| 37                                    | 24,1                 | 60             | -56,9                         | -62,2                             | 7  | 25,1                          | 17,7        | -55,8           | 1,92      | 0,22   | 0,18      | 0,15      | 2,47 | 1,10 |
| 38                                    | 34,1                 | 60             | -56,9                         | -62,2                             | 7  | 35,1                          | 27,7        | -55,8           | 3,16      | 0,27   | 0,06      | 0,15      | 2,64 | 0,23 |



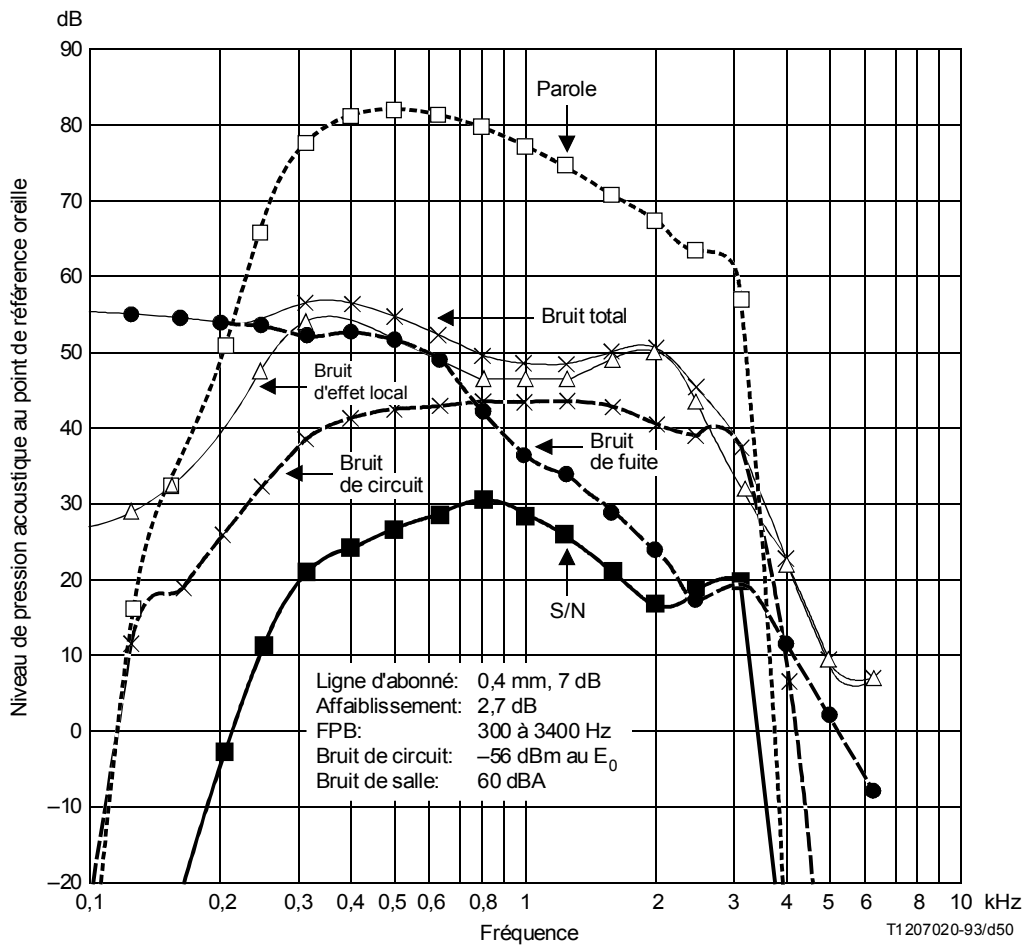
TABLEAU D.3

Caractéristiques d'affaiblissement en fonction de la fréquence utilisées au Tableau D.2

| Fréquence<br>(Hz) | 1<br>SRAEN<br>(dB) | 2<br>(Note 1)<br>(dB) | 3<br>(Note 2)<br>(dB) |
|-------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|
| 100               | 21,7               | 40,0                  | 76,0                  |
| 125               | 11,4               | 32,0                  | 60,0                  |
| 160               | 6,9                | 23,0                  | 47,0                  |
| 200               | 5,6                | 17,2                  | 36,0                  |
| 250               | 4,0                | 12,0                  | 24,5                  |
| 315               | 2,1                | 6,5                   | 15,0                  |
| 400               | 1,2                | 2,5                   | 7,0                   |
| 500               | 0,7                | 1,0                   | 2,5                   |
| 630               | 0,3                | 0,5                   | 0,5                   |
| 800               | 0,0                | 0,0                   | 0,0                   |
| 1000              | 0,0                | -0,1                  | 0,0                   |
| 1250              | 0,0                | -0,1                  | 0,0                   |
| 1600              | -0,1               | -0,3                  | 0,2                   |
| 2000              | -0,2               | -0,1                  | 0,9                   |
| 2500              | -0,2               | 0,5                   | 2,5                   |
| 3150              | 0,0                | 4,0                   | 9,0                   |
| 4000              | 87,5               | 12,5                  | 19,5                  |
| 5000              | 200,0              | 22,0                  | 30,0                  |
| 6300              | 200,0              | 32,0                  | 41,0                  |

NOTES

- 1 3 chaînes de circuits à 4 fils. Caractéristiques de limite à 50%.
- 2 7 chaînes de circuits à 4 fils. Caractéristiques de limite à 95,5%.



FPB Filtre passe-bas

FIGURE D.1

Niveau de la parole et du bruit au point de référence oreille (ERP)

**Annexe E**  
(au paragraphe 4.3.2.2)

**Etablissement de l'équation (4-16)**

A partir des équations (4-9) et (4-10) de la Recommandation P.79,

$$OLR = \overline{L_{ME}} - \overline{L_{RNE}} = -\frac{1}{m} 10 \log_{10} \sum_{i=1}^M 10^{\frac{-mL_{MEi}}{10}} G_i \Delta f_i - \left(-\frac{1}{m}\right) 10 \log_{10} \sum_{i=1}^M 10^{\frac{-mL_{RMEi}}{10}} G_i \Delta f_i \quad (E-1)$$

En prenant le logarithme de l'équation (4-12),

$$10 \log_{10} \lambda_E = 10 \log_{10} C + 10 \log_{10} \left[ \sum_{i=1}^M 10^{\frac{-mb_n}{10}} \cdot 10^{\frac{-mL_{MEi}}{10}} G_i \Delta f_i \right] = K - mb_n - m \overline{L_{ME}} \quad (E-2)$$

De même,

$$10 \log_{10} \lambda_0 = 10 \log_{10} C + 10 \log_{10} \left[ \sum_{i=1}^M 10^{\frac{-mL_{\Phi MEi}}{10}} G_i \Delta f_i \right] = K - m \overline{L_{\Phi ME}} \quad (E-3)$$

où  $L_{\Phi MEi}$  est l'affaiblissement en dB qui donne la sonie optimale en l'absence de bruit.

En substituant ces quantités dans l'équation (4-15), on obtient

$$PI_{EL} = \sqrt{\frac{C_2}{C_1} \left( 10 \log_{10} \frac{\lambda_E}{\lambda_0} \right)^2 + C_2} - \sqrt{C_2} = \sqrt{\frac{C_2}{C_1} \left\{ -mb_n - m \overline{L_{ME}} - (-m \overline{L_{\Phi ME}}) \right\}^2 + C_2} - \sqrt{C_2}$$

étant donné que  $OLR_0 = L_{\Phi ME} - L_{RNE}$ , nous avons

$$PI_{EL} = \sqrt{\frac{C_2}{C_1} m^2 (b_n + OLR - OLR_0)^2 + C_2} - \sqrt{C_2} \quad (E-4)$$

qui est la même que l'équation (4-16).

Il faut utiliser une constante pour les équations (4-15) et (4-16), soit  $\lambda_0/C$  pour (4-15) et  $OLR_0$  pour (4-16). L'adaptation des valeurs du Tableau 4-5 permet une erreur de 0,004 pour deux calculs différents de  $IP_{EL}$ . Mais cette erreur n'en cause pas d'autres dans la suite des calculs.

**Annexe F**  
(au paragraphe 4.3.3)

**Modèle d'évaluation psychologique**

La présente annexe donne un développement précis des équations (4-34) et (4-35). Ce modèle est une adaptation complète de la référence [39].

**F.1 Modèle psychologique pour l'évaluation**

Conformément au modèle cité en [39], la Figure F.1 présente un continuum psychologique des valeurs d'évaluation pour une condition d'essai.  $p_k$ , défini page 10 du document [39], est la probabilité de donner la note d'opinion  $k$  pour une condition d'essai. La correspondance des notes d'opinion et des gammes du continuum psychologique est:

| <i>gamme du continuum</i> | <i>note d'opinion</i> |
|---------------------------|-----------------------|
| $-\infty$ 0,5             | 0                     |
| 0,5    1,5                | 1                     |
| 1,5    2,5                | 2                     |
| 2,5    3,5                | 3                     |
| 3,5 $\infty$              | 4                     |

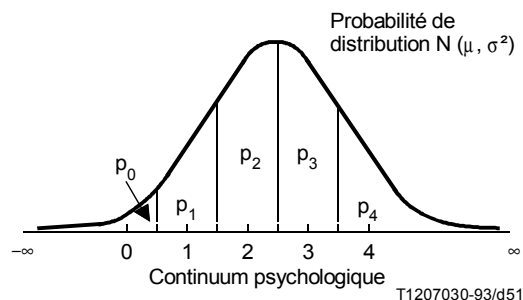


FIGURE F.1

**Distribution des évaluations dans une condition d'essai sur un continuum psychologique**

Ces hypothèses satisfont à l'équation suivante:

$$MOS = \sum_{k=0}^4 k p_k \tag{F-1}$$

qui est la même que l'équation (4-34).

## F.2 Obtention de l'équation (4-35) à partir de l'équation (4-34)

La probabilité cumulative  $N(\mu, \sigma^2)$  s'exprime au moyen de la fonction de distribution normale de standard suivante:

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{(x-\mu)/\sigma} \exp(-t^2/2) dt \quad (\text{F-2})$$

Avec (F-2), on exprime ainsi l'équation (4-34):

$$MOS = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left\{ 0 \times \int_{-\infty}^{(0,5-\mu)/\sigma} \exp(-t^2/2) dt + 1 \times \int_{(0,5-\mu)/\sigma}^{(1,5-\mu)/\sigma} \exp(-t^2/2) dt + 2 \times \int_{(1,5-\mu)/\sigma}^{(2,5-\mu)/\sigma} \exp(-t^2/2) dt \right. \\ \left. + 3 \times \int_{(2,5-\mu)/\sigma}^{(3,5-\mu)/\sigma} \exp(-t^2/2) dt + 4 \times \int_{(3,5-\mu)/\sigma}^{\infty} \exp(-t^2/2) dt \right\} \quad (\text{F-3})$$

En remplaçant la multiplication par une répétition d'additions et en modifiant l'association (combinaison) d'addition, l'équation (F-3) devient:

$$MOS = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left\{ \int_{(0,5-\mu)/\sigma}^{\infty} \exp(-t^2/2) dt + \int_{(1,5-\mu)/\sigma}^{\infty} \exp(-t^2/2) dt + \int_{(2,5-\mu)/\sigma}^{\infty} \exp(-t^2/2) dt \right. \\ \left. + \int_{(3,5-\mu)/\sigma}^{\infty} \exp(-t^2/2) dt \right\} \quad (\text{F-4})$$

Etant donné que

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_a^{\infty} \exp(-t^2/2) dt = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^a \exp(-t^2/2) dt \quad (\text{F-5})$$

nous avons

$$MOS = 4 - \sum_{k=0}^3 \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{(k+0,5-\mu)/\sigma} \exp(-t^2/2) dt \quad (\text{F-6})$$

Le remplacement de  $\mu$  par  $P$  permet d'obtenir l'équation (4-35), ce qui autorise l'emploi d'un tableau de distribution normale standard.

## Annexe G

### Méthode objective permettant d'évaluer la qualité de transmission de la parole ayant subi une distorsion non linéaire

Les méthodes permettant de prévoir la qualité subjective des systèmes de transmission au moyen de mesures objectives, qui sont décrites dans la présente annexe, sont actuellement à l'étude. Jusqu'à présent, il n'a pas été possible de recommander un modèle unique applicable à une grande diversité de dégradations dues à une distorsion non linéaire. Une méthode supplémentaire fondée sur un principe psychoacoustique a donc été introduite [43].

#### G.1 Introduction

L'une des échelles les plus couramment employées pour l'évaluation de la qualité des paroles transmises au moyen de dispositifs à caractéristiques non linéaires est la «note d'opinion» par laquelle on émet un jugement subjectif sur la parole humaine. La note moyenne d'opinion (MOS), qui est la moyenne des notes données dans certaines conditions choisies, est utilisée comme indice pour la planification des réseaux et pour l'évaluation de la qualité des codecs. La MOS présente un degré de fiabilité plus élevé lorsque le nombre de locuteurs et d'auditeurs est assez important. Pour des raisons de commodité, ce nombre sera toutefois restreint.

Cette méthode, dite de «mesure subjective», demande beaucoup de temps et d'efforts. C'est pourquoi on estime objectivement la MOS d'après des mesures physiques de distorsion non linéaire sur des modèles d'évaluation du comportement d'auditeurs et au moyen d'une voix artificielle conforme à la Recommandation P.50.

Pour un codec de modulation par impulsions et codage (MIC), qui est un exemple de dispositif non linéaire utilisé dans les réseaux actuels, on applique une méthode objective faisant appel à un signal sinusoïdal ou à un bruit à bande de fréquences limitée (voir les Recommandations G.712 à G.715). Cette méthode n'est qu'une des applications, à un codec MIC, des techniques conventionnelles qui consiste à mesurer les distorsions harmoniques dans les circuits analogiques. Cette méthode n'est cependant applicable que lorsque le spectre de distorsion est plat, comme en codage MIC.

Le rapport signal sur bruit (SNR), déduit de la différence entre les formes d'ondes d'un signal à l'entrée et à la sortie, est également utilisé pour l'évaluation en tant qu'indice de qualité de l'algorithme de codage à faible débit binaire. Mais l'algorithme de codage plus évolué dont on dispose aujourd'hui exploite statistiquement les redondances de la voix humaine. Il n'est donc plus possible d'escompter un spectre de distorsion plat. Les méthodes de mesure objective qui sont recommandées ci-dessous ont été principalement mises au point pour être appliquées à une telle distorsion non linéaire.

#### G.2 Champ d'application

L'application de la méthode objective sera, dans la première phase, restreinte au codec de signaux vocaux numériques. Cela implique que les signaux d'entrée et de sortie pourront être prélevés aux accès d'entrée et de sortie du codec. On admet que le bruit analogique ou la distorsion d'affaiblissement en fréquence, ajoutés par le codec, sont négligeables. Le spectre du signal d'entrée pourra être modifié selon le circuit raccordé du côté de l'entrée du codec. Le retard introduit par le système est le seul problème à compenser. Il y a lieu de limiter à ce domaine l'application de méthodes particulières.

#### G.3 Signal de mesure

Il convient d'utiliser des voix artificielles, d'homme et de femme, conformes à la Recommandation P.50. Si le signal d'entrée du codec provient d'un poste téléphonique, il y aura lieu de mettre en forme les signaux vocaux en fonction des caractéristiques d'efficacité en fréquence de ce poste.

## **G.4 Prétraitement**

### **G.4.1 Alignement dans le temps entre signaux d'entrée et de sortie**

L'intervalle de temps entre signaux d'entrée et de sortie provient des processus de codage et de décodage. Ce retard entraîne une erreur de mesure importante si aucun alignement dans le temps n'est effectué. L'une des méthodes les plus efficaces pour mesurer le retard consiste à détecter la crête de mise en intercorrélation des signaux d'entrée et de sortie.

### **G.4.2 Fenêtrage**

On ouvre une fenêtre de Hamming dont la longueur (une seule trame) est fixée à 256 échantillons prélevés à un taux d'échantillonnage de 8 kHz (soit 32 ms). Dans la plupart des cas, le fenêtrage est réalisé sans recouvrement. Un recouvrement de 50% se manifesterait si l'on utilise la fonction de cohérence.

### **G.4.3 Mise en grappes des segments**

#### **G.4.3.1 Méthode 1 – Niveau de puissance des segments**

Les quartiles sont déterminés au moyen d'une distribution cumulative fondée sur la puissance des segments dans les signaux de parole à la source puis par la création de quatre groupes en ordonnant les segments en fonction de leur niveau de puissance et en attribuant ces derniers à des grappes fondées sur un ordre de percentile (par exemple, le percentile 0 à 25 est attribué à la grappe 1, le percentile 25 à 50 est attribué à la grappe 2 et ainsi de suite).

#### **G.4.3.2 Méthode 2 – Paramètres déduits des grappes**

Les segments à court terme des signaux de parole sont répartis entre plusieurs grappes ayant en commun des caractéristiques acoustiques (valeurs des paramètres) telles que l'oreille humaine ne les distingue pas nettement. Les valeurs des paramètres d'un segment permettent de l'attribuer à une grappe. Les paramètres utilisés dans l'attribution de segments aux grappes sont ceux qui servent à la correspondance spectrale. L'analyse du *k*ème voisin le plus proche (kNN) (*k-nearest neighbour*) détermine le nombre de grappes et de limites de grappe. Cette analyse s'applique aux signaux de parole à l'entrée, ce qui aboutit à des attributions de segments à une grappe donnée. Lorsque des segments sont attribués à des grappes, on met en mémoire quel segment a été attribué à quelle grappe, ce qui permet d'attribuer des segments à des grappes dans les signaux de parole à la sortie.

### **G.4.4 Préaccentuation**

Dans la méthode faisant appel à la technique LPC (codage prédictif linéaire), les signaux sont accentués par un circuit de dérivation du premier ordre afin d'extraire le paramètre LPC et améliorer la précision de l'analyse spectrale.

### **G.4.5 Elimination des pauses**

Les brefs silences entre les passages vocaux sont éliminés lors de la mesure. On détecte les pauses en appliquant les règles suivantes:

- i) si l'on connaît le niveau du bruit de fond enregistré (et communiqué au laboratoire de centralisation des mesures), on considère comme des pauses tous les segments qui ont, pendant plus de six trames successives de 32 ms, un niveau de puissance inférieur à un certain seuil, qui est fixé au-dessus du niveau de bruit;
- ii) si l'on ne connaît pas le niveau du bruit de fond enregistré (ou si ce niveau n'a pas été fourni), on l'estime d'après celui d'une période de silence sur la bande enregistrée ou d'après le bruit produit par le codec au repos.

### **G.4.6 Normalisation des amplitudes**

Certains types de distorsion non linéaire produisent des différences d'amplitude entre signaux d'entrée et de sortie. Si certaines mesures concernent de telles distorsions non linéaires, leurs valeurs individuelles pourront être surtout déterminées par les différences d'amplitude correspondantes plutôt que par les composantes de distorsion non linéaire. Dans ce cas, l'amplitude du signal de sortie devra être réglée de manière à obtenir un niveau égal à celui du signal d'entrée.

## G.5 Paramètres objectifs

La qualité objective de la parole est estimée sur la base d'un ou de plusieurs paramètres spécifiant le signal de parole dans le domaine temporel ou fréquentiel. Ces paramètres sont également en relation étroite avec les notes subjectives. Ils peuvent être classés en «paramètres de base» et en «paramètres de distorsion». Les paramètres de base ne spécifient les caractéristiques physiques intrinsèques que pour les signaux d'entrée et de sortie de parole. Par ailleurs, les paramètres de distorsion reflètent les différences entre signaux d'entrée et de sortie de parole. La plupart des méthodes de mesure objective ont été élaborées sur la base de cette mesure de distorsion. Bien qu'il existe un certain nombre de paramètres de distorsion, on recommande d'utiliser ceux qui sont d'usage courant pour déterminer l'indice de distorsion, ainsi que les paramètres nécessaires pour les processus d'estimation.

### G.5.1 Méthode 1 – SNR (rapport signal sur bruit)

La formule (G-1) ci-dessous définit le rapport conventionnel du signal au bruit de quantification,  $Q_t$ , utilisé couramment comme mesure objective de qualité.

$$Q_t = 10 \log_{10} \frac{\sum_{j=1}^M x(j)^2}{\sum_{j=1}^M \{x(j) - y(j)\}^2} \quad (\text{G-1})$$

Ici,  $x(j)$  et  $y(j)$  sont les signaux d'entrée et de sortie pour le codec,  $M$  étant le nombre d'échantillons dans la partie entrée. La variante de mesure déduite de  $Q_t$  est le SNR du segment,  $Q_{t_{seg}}$ , qui est défini par l'équation (G-2).

$$Q_{t_{seg}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Q_{t_i} \quad (\text{G-2})$$

Ici,  $N$  est le nombre de trames de signal et  $Q_{t_i}$  est le rapport signal sur bruit dans la trame de signal  $i$ .

Des définitions modifiées de SNR et de  $SNR_{seg}$  sont déduites du spectre de puissance.  $Sx_i(j)$  et  $Sy_i(j)$  sont les spectres de puissance des signaux d'entrée et de sortie de la  $j$ ème fréquence au  $i$ ème segment. Les rapports signal sur bruit définis dans le domaine fréquentiel,  $Q_f$  et  $Q_{f_{seg}}$  sont:

$$Q_f = 10 \log_{10} \frac{\sum_{j=1}^M Sx(j)}{\sum_{j=1}^M Sx(j) - \sum_{j=1}^M Sy(j)} \quad (\text{G-3})$$

$$Q_{f_{seg}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Q_{f_i} \quad (\text{G-4})$$

### G.5.2 Méthode 2 – Distance spectrale

La distance cepstrale du codage prédictif linéaire (LPC) est approchée au moyen des coefficients cepstraux, comme suit:

$$CD = [2 \sum \{C_x(i) - C_y(i)\}^2]^{1/2} \quad (\text{dB}) \quad (\text{G-5})$$

où  $C_x(i)$  et  $C_y(i)$  sont les coefficients cepstraux des signaux d'entrée et de sortie. Cette mesure se rapporte à la différence d'enveloppe spectrale entre les signaux de parole à la source et les signaux de parole traités.

### G.5.3 Méthode 3 – Fonction de cohérence

La fonction de cohérence  $\gamma$  est définie par une fonction d'intercorrrelation et par une fonction d'autocorrélation entre échantillons de parole à l'entrée et à la sortie,  $x_i$  et  $y_i$ .

$$\gamma^2 = \frac{|G_{ab}|^2}{G_{aa} \times G_{bb}} \quad (\text{G-6})$$

où  $G_{aa}$ ,  $G_{bb}$  et  $G_{ab}$  sont respectivement l'autospectre d'entrée, le spectre de sortie et l'interspectre.

Sous forme d'équation, on obtient:

$$G_{ab} = \sum_{n=1}^N X_n(f) Y_n^*(f) \quad (\text{G-7})$$

$$G_{aa} = \sum_{n=1}^N X_n(f)^2 \quad (\text{G-8})$$

$$G_{bb} = \sum_{n=1}^N Y_n(f)^2 \quad (\text{G-9})$$

$$\delta = \frac{1}{NPf_s} \quad (\text{G-10})$$

où  $N$  est le nombre de segments dans le signal source,  $P$  le nombre d'échantillons dans chaque segment et  $f_s$  la fréquence d'échantillonnage.

Avec  $\gamma$  et  $Y(f)$ , on peut calculer le spectre de puissance cohérente,  $CP(f)$  ainsi que le spectre de puissance non cohérente résiduelle,  $NCP(f)$  comme suit:

$$CP(f) = \gamma^2(f) \cdot \delta \cdot G_{bb} \quad (\text{G-11})$$

$$NCP(f) = [1 - \gamma^2(f)] \cdot \delta \cdot G_{bb} \quad (\text{G-12})$$

### G.5.4 Méthode 4 – Indice d'information

L'indice d'information est fondé sur le concept d'information mutuelle défini par Shannon. Le principe de cette méthode est présenté dans le document cité en [24] et son application est décrite en 3.2.

On calcule d'abord un SNR fractionnaire pour les bandes de fréquences qui ont la même importance en terme de netteté phonétique. Ces SNR sont alors transformés en valeurs de qualité ( $Q$ ). L'indice d'information ( $\Pi$ ) est calculé comme suit:

$$\Pi = \sum_{j=1}^{16} B_j \cdot V_j \quad (\text{G-13})$$

avec

$$V_j = 3 / \left( 0,1 + 10^{-\left(Qf_j + C_j\right)/10} \right) \quad (\text{G-14})$$

et où  $B_j$  est la pondération en fréquence attribuée à la  $j$ ème bande de fréquences,  $Qf_j$  étant la moyenne des  $q_j$  pour toutes les trames. Chaque  $Qf_j$  est le SNR équivalent, exprimé en MNRU et  $C_j$  est un facteur de correction de la largeur de bande critique dans le mécanisme d'écoute. Les valeurs de  $C_j$  et les  $B_j$  sont indiquées dans le Tableau G.1. Pour un codec, la valeur approchée de  $[Qf_j + C_j]$  s'obtient par la formule suivante, qui utilise  $Qf$  et où  $d = Q_{t_{seg}} - Q_t$  pour chaque type particulier de codec. Dans le Tableau G.2 figurent des exemples de valeurs de  $d$  pour des codes représentatifs.



$$Qf_j + C_j = Qf + C_j + d \cdot \tanh [0,0798 (Qf + C_j) - 0,356] \text{ pour } Qf + C_j < -3,57 \quad (\text{G-15})$$

$$Qf_j + C_j = 4,34 \ln [\exp \{0,23026 (Qf + C_j + 5,15)\} - 1] + d [0,276 (Qf + C_j) + 0,3859] \quad \text{pour } -3,57 < Qf + C_j < 0 \quad (\text{G-16})$$

$$Qf_j + C_j = 4,3429 \cdot \ln [\exp \{0,23026 (Qf + C_j + 5,15)\} - 1] + d \cdot \tanh [0,062715 (Qf + C_j) + 0,310925] \quad \text{pour } Qf + C_j > 0 \quad (\text{G-17})$$

TABLEAU G.1

| <i>j</i> | Fréquence (Hz) | <i>B<sub>j</sub></i> | <i>C<sub>j</sub></i> |
|----------|----------------|----------------------|----------------------|
| 1        | 100            | 0,00804              | 0                    |
| 2        | 125            | 0,01042              | 1,25                 |
| 3        | 160            | 0,0138               | 2,0                  |
| 4        | 200            | 0,01788              | 2,6                  |
| 5        | 250            | 0,02392              | 3,5                  |
| 6        | 315            | 0,03246              | 4,9                  |
| 7        | 400            | 0,04471              | 5,8                  |
| 8        | 500            | 0,05981              | 6,35                 |
| 9        | 630            | 0,07789              | 7,25                 |
| 10       | 800            | 0,0839               | 7,35                 |
| 11       | 1000           | 0,0899               | 7,8                  |
| 12       | 1250           | 0,09627              | 8,05                 |
| 13       | 1600           | 0,10376              | 8,25                 |
| 14       | 2000           | 0,11097              | 8,3                  |
| 15       | 2500           | 0,11859              | 8,18                 |
| 16       | 3150           | 0,12694              | 7,95                 |
| 17       | 4000           | 0,13607              | 7,57                 |
| 18       | 5000           | 0,14506              | 7,25                 |
| 19       | 6300           | 0,15487              | 7,2                  |
| 20       | 8000           | 0,16554              | 6,8                  |

TABLEAU G.2

| Type de codec                  | Débit binaire (kbit/s) | <i>d</i> |
|--------------------------------|------------------------|----------|
| MIC                            | 64                     | 0        |
| MICDA avec prédicteur fixe     | 16                     | -2,8     |
|                                | 24                     | -2,3     |
|                                | 32                     | -2,4     |
|                                | 16                     | 1,7      |
| MICDA avec prédicteur variable | 24                     | 2,1      |
|                                | 32                     | 2,6      |
|                                | 24                     | -2,1     |
| Codage de sous-bande           | 32                     | -1,0     |

## G.6 Processus d'estimation

### G.6.1 Méthode 1 – Au moyen de la formule de régression

Pour la distance  $CD$ ,

$$MOS = a \cdot CD^2 - b \cdot CD + c \quad (G-18)$$

Les paramètres  $a$ ,  $b$  et  $c$  sont déterminés d'après la note d'opinion. D'après une expérience japonaise, les valeurs de  $a$ ,  $b$  et  $c$  étaient respectivement 0,0415, 0,8010 et 3,5620.

Pour l'indice d'information  $II$ ,

$$x = \ln \left[ \frac{II - I_{min}}{I_{max} - II} \right] \quad y = \ln \left[ \frac{Y - Y_{min}}{Y_{max} - Y} \right] \quad (G-19)$$

$$y = A \cdot x - B \quad (G-20)$$

où  $Y_{max}$  ( $Y_{min}$ ) est la note maximale (minimale) dans une série élargie de tests d'opinion,  $I_{max}$  ( $I_{min}$ ) est la valeur correspondante de  $II$ ; ces valeurs peuvent être obtenues directement lors des essais ou extrapolées. D'après une expérience française, les valeurs de  $I_{max}$ ,  $I_{min}$ ,  $Y_{max}$  et  $Y_{min}$  sont respectivement de 27,6; 0; 3,4 et 0 (sur une échelle allant de 0 à 4) pour différents codecs et MNRU. Quant aux valeurs obtenues lors d'essais sur les non-linéarités d'entrée et de sortie effectués par Bell-Northern Research (Canada), elles étaient respectivement de 25; 9,89; 4,2 et 1,057 (sur une échelle allant de 1 à 5).

### G.6.2 Au moyen du modèle subjectif

#### G.6.2.1 Modèle de Richards élargi

La première étape, qui consiste à réduire le niveau de puissance cohérente («niveau du signal») au «niveau préféré» (c'est-à-dire à 82 dBspl) a été expliquée: par addition des puissances, on combine le spectre de puissance non cohérente («spectre de bruit») avec le seuil d'audibilité d'un son à spectre continu afin d'obtenir un nouveau spectre de bruit de masquage (MNS). Les seuils d'audibilité sont indiqués dans le Tableau G.3. Sur cette base, on calcule le niveau sensoriel,  $Z$ , en soustrayant la puissance non cohérente de la puissance cohérente, afin d'obtenir un indice additif,  $P(Z)$ , conforme aux fonctions de croissance modifiées suivantes:

$$Z < A P(z) = 10^{(Z + B)/10} \quad (G-21)$$

$$Z \geq A P(Z) = 1 - \left[ 10^{(Z + C)/10} \right]^D \quad (G-22)$$

où

$$A = 2,792, \quad B = -6,646, \quad C = 0,5 \text{ et } D = -0,7$$

Le produit (ou la somme si l'on s'exprime en décibels) de  $P(Z)$  et du coefficient de pondération en fréquence  $B'$  (les  $10 \log_{10} B'$  sont énumérés au Tableau G.3) est ensuite intégré(e) dans toute la gamme de fréquences utilisée, afin d'obtenir l'indice d'opinion à l'écoute (LOI). (Les valeurs de  $\beta_0 - K$  et de  $B_1$  sont indiquées dans le Tableau G.3.)

TABLEAU G.3

| Fréquence<br>$f(\text{Hz})$ | Seuil d'audibilité<br>$\beta_0 - K$ | Pondération en fréquence<br>$10 \log B'$ |
|-----------------------------|-------------------------------------|--|
| 100                         | +17,5                               | -35,8                                    |
| 200                         | 5,0                                 | -34,2                                    |
| 300                         | 0,0                                 | -33,3                                    |
| 400                         | -3,0                                | -32,9                                    |
| 500                         | -5,0                                | -32,9                                    |
| 600                         | -6,0                                | -33,0                                    |
| 800                         | -8,0                                | -33,5                                    |
| 1000                        | -9,0                                | -34,0                                    |
| 1250                        | -8,5                                | -34,7                                    |
| 1600                        | -8,0                                | -35,7                                    |
| 2000                        | -9,0                                | -37,3                                    |
| 2500                        | -11,5                               | -39,4                                    |
| 3000                        | -14,0                               | -41,3                                    |
| 3500                        | -13,5                               | -42,9                                    |
| 4000                        | -13,0                               | -44,0                                    |
| 5000                        | -12,5                               | -45,5                                    |
| 6000                        | -11,5                               | -46,7                                    |
| 8000                        | -9,0                                | -48,2                                    |

En pratique, si l'on suppose que le niveau sensoriel  $Z$  est à peu près constant à l'intérieur de bandes de fréquences  $\Delta f$  choisies de manière à être assez étroites (l'espacement des fréquences étant déterminé par la longueur des segments utilisés dans les calculs de transformation de Fourier rapide), l'intégration est remplacée par une sommation des produits du type suivant:

$$B'P(z)\Delta f \quad (\text{G-23})$$

Jusque-là, tous les calculs ont été effectués séparément pour chaque quartile, ce qui donne quatre valeurs d'indice d'opinion à l'écoute (LOI). Etant donné que l'on admet que ces indices sont additifs, leur moyenne peut être calculée au moyen des coefficients de pondération ci-après:

|                    |    |      |
|--------------------|----|------|
| Quartile inférieur | Q1 | 0,19 |
|                    | Q2 | 0,21 |
|                    | Q3 | 0,53 |
| Quartile supérieur | Q4 | 0,07 |

Ces coefficients de pondération sont appliqués afin de compenser le fait que le signal de parole simulée, décrit dans [41], présente une loi de répartition des segments de niveau de puissance dont la dispersion est beaucoup plus faible que celle des signaux de parole proprement dits. Un traitement plus poussé du signal de parole simulée peut éliminer à la longue la nécessité d'appliquer des coefficients de pondération différents à chaque quartile.

Le LOI final peut être transformé en note moyenne d'opinion (MOS) au moyen de la relation modifiée (G-24).

$$MOS = \frac{1 + 5e^x}{1 + e^x} \quad (\text{G-24})$$

où

$$x = E \cdot \ln \frac{LOI}{LOI_{lim} - LOI} + F \quad (\text{G-25})$$

$$E = 1,145, \quad F = -1,195 \quad \text{et} \quad LOI_{lim} = 0,885$$

### G.6.2.2 Modèle OPINE utilisant le $Q$ équivalent

La description du modèle OPINE (Overall Performance Index model for Network Evaluation) est extraite de la section du Manuel de téléphonométrie à ce sujet.

On convertit tout d'abord la distance  $CD$  en rapport  $Q$  équivalent au moyen de l'équation de régression suivante:

$$Q = 0,49 CD^2 - 8,425 CD + 42,856 \quad (\text{dB}) \quad (\text{G-26})$$

On calcule le niveau subjectif équivalent en bruit blanc de la distorsion de quantification de la façon suivante:

$$V_{wop} = -2,022 PI_q^3 - 7,51 PI_q^2 + 21,9 PI_q - 76,9 - (OLR - 7,5) \quad (\text{G-27})$$

$$PI_q = -0,0000218 Q_{op}^3 + 0,00489 Q_{op}^2 - 0,283 Q_{op} + 4,915 \quad (\text{G-28})$$

ou, sous une forme plus simple, avec le rapport  $SNR_w$ :

$$V_{wop} = -26,9 - SNR_w - (OLR - 7,5) \quad (\text{G-29})$$

$$SNR_w = -0,0467 Q_{op}^2 + 3,632 Q_{op} - 21,51 \quad (\text{G-30})$$

$$V_{cq} = V_c (+) V_{wop} \quad (\text{G-31})$$

où

|           |   |
|-----------|---|
| $V_{wop}$ | est le niveau subjectif ( $PI$ ) équivalent en bruit blanc à l'entrée du circuit téléphonique local (RLR = -4,0 dB)           |
| $PI_q$    | est l'indice de qualité en présence de distorsion de quantification   |
| $Q_{op}$  | est le rapport parole bruit corrélé à la parole équivalent pour l'opinion (dB)  |
| $SNR_w$   | est le rapport parole bruit blanc équivalent pour l'opinion (dB)  |
| $V_c$     | est le niveau de bruit de circuit à l'entrée par rapport à l'extrémité de réception (dBmp)                                    |
| $V_{cq}$  | est le niveau de bruit de circuit équivalent en présence à la fois du bruit de circuit et de la distorsion de quantification. |

Dans l'étape suivante, on convertit  $V_{cq}$  en indice de qualité en présence de bruit,  $PI_N$ . Le bruit a deux effets distincts sur les sujets, selon l'environnement vocal: l'un est le bruit dans les intervalles entre paroles et l'autre est le bruit dans les intervalles sans signaux vocaux.

Dans les intervalles entre paroles, la sonie affectée d'un petit rapport signal sur bruit, S/N, est considérée comme étant moins bonne qu'une sonie équivalente mais affectée d'un S/N supérieur. En prenant le bruit total,  $N_i$  [niveau de pression acoustique (en décibels)] pour la bande  $i$  au point de référence oreille (ERP), l'indice de qualité en présence de bruit,  $PI_N$ , est exprimé sous la forme de la somme de  $PI_{IN}$  ( $PI$  en présence de bruit sur le circuit au repos) et de  $PI_{SN}$  ( $PI$  en présence de bruit dans les intervalles entre signaux vocaux).

$PI_{IN}$  peut être exprimé par une fonction de puissance pondérée par une courbe A par rapport au seuil de  $N_i$ .

Nous aurons donc

$${}_0 N_i = \begin{cases} N_i - N_{th}, & N_i \geq N_{th} \\ 0, & N_i < N_{th} \end{cases} \quad (\text{G-32})$$

$$PI_{IN} = C_3 \sum_{i=1}^M \left\{ 10^{A_i/10} (10^{nN'_i/10} - 1) \right\} \quad (\text{G-33})$$

où

|          |   |
|----------|---|
| $N'_i$   | est le niveau au-dessus du seuil de bruit                                   |
| $N_{th}$ | est le seuil de bruit (niveau de pression acoustique en dB)                 |
| $n$      | est un exposant   |
| $A_i$    | est le coefficient de pondération $A$ pour la bande de fréquences $i$ (dB). |

Il est nécessaire d'estimer  $n$  et  $N_{th}$ .

$PI_{SN}$  est évalué par la formule linéaire suivante, dans laquelle SNR est le rapport S/N et  $SNR_{th}$  le seuil au-dessous duquel S/N n'a plus d'effet sur l'évaluation.

$$SNR = 10 \log_{10} \left( \frac{\sum_{i=1}^M 10^{S_i/10}}{\sum_{i=1}^M 10^{N_i/10}} \right) \quad (G-34)$$

$$PI_{SN} = \begin{cases} C_4 (SNR - SNR_{th}), & SNR \leq SNR_{th} \\ 0 & SNR > SNR_{th} \end{cases} \quad (G-35)$$

Ici,  $S_i$  est le spectre acoustique de la bande  $i$  au point de référence oreille (niveau de pression acoustique en décibels).

$$PI_N = PI_{IN} + PI_{SN} \quad (G-36)$$

L'indice de qualité global, OPI, peut être calculé comme étant la somme des indices de qualité en présence d'autres facteurs.

$$OPI = \sum_{I=1}^L PI_I \quad (G-37)$$

Les résultats d'évaluation dans les mêmes conditions d'essai, pour un grand nombre de sujets, sont considérés comme suivant une loi normale sur une échelle de notation psychologique. Soit  $P$  l'évaluation globale moyenne sur cette échelle psychologique. On pourra alors exprimer  $P$  comme suit:

$$P = P_0 - OPI \quad (G-38)$$

où  $P_0$  représente  $P$  sans dégradation.

L'évaluation globale comme la dégradation globale suivent toutes les deux une loi normale de variance  $\sigma^2$  et de moyennes respectives  $P$  et OPI pour des conditions d'essai données. Dans l'essai subjectif, on utilise cinq catégories. En supposant que les intervalles entre catégories soient égaux, la MOS peut être évaluée comme suit:

$$MOS = \sum_{k=0}^4 k p_k \quad (G-39)$$

où  $p_k$  est le rapport de la catégorie d'évaluation  $k$  à toutes les autres catégories. En situation réelle, on utilisera l'équation suivante:

$$MOS = 4 - \sum_{k=0}^3 \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{(k+0,5-P)/\sigma} \exp(-t^2/2) dt \quad (G-40)$$

### G.6.3 Méthode 3 – Utilisation de la correspondance spectrale

Cette méthode est appliquée en deux phases. Lors de la phase d'apprentissage, représentée par les équations (G-41) et (G-42) ci-dessous, des paroles enregistrées déjà soumises à des essais subjectifs sont analysées afin d'extraire des «statistiques d'apprentissage». Ces paroles enregistrées constitueront une base de données d'apprentissage comportant des signaux vocaux issus de divers codecs à prendre en compte. Dans la phase d'essai, représentée par les équations (G-43) à (G-45) ci-dessous, un enregistrement de signaux vocaux de qualité inconnue sera analysé puis recevra une note de qualité fondée sur les statistiques d'apprentissage recueillies au préalable.

Cette technique est fondée sur de simples règles de probabilité conformes au théorème de Bayes; elle implique une estimation de la fonction de densité de probabilité de base (pdf). On désignera cette étape par le terme «apprentissage» parce qu'elle consiste à adapter le système à une application particulière.

La fonction de densité de probabilité conditionnelle de  $x_i$  pour la  $m$ ème distorsion peut être estimée par la méthode du  $k$ ème voisin le plus proche:

$$p(x_i | d_m) = (k - 1) / (N \cdot v(x_i)) \quad (G-41)$$

où  $i$  est le numéro de trame,  $x_i$  un paramètre vectoriel de mesure,  $N$  le nombre total de trames par distorsion et  $v(x_i)$  le volume d'une hypersphère de rayon égal à la distance de  $x_i$  au  $k$ ème vecteur le plus proche qui appartient à la distorsion  $d_m$ . L'estimation de la fonction de densité de probabilité conditionnelle (cpdf) pour chaque distorsion consiste à mettre en mémoire les valeurs du paramètre d'apprentissage et à effectuer le calcul ci-dessus.

On peut faire une autre estimation de  $p(x_i | d_m)$  en simulant la densité de probabilité sous la forme d'une fonction gaussienne mixte. On fera appel à l'analyse des grappes de  $k$ èmes moyennes afin de repérer les formations de grappes dans les données paramétriques de chaque distorsion. Cette analyse par grappes aboutit à un vecteur de moyenne  $xm_{mc}$  et à une matrice de dispersion (variance-covariance)  $C_{mc}$  pour la  $m$ ème distorsion et la  $c$ ème grappe. La fonction gaussienne mixte de densité de probabilité conditionnelle (cpdf) sera estimée en ajustant une fonction gaussienne à chaque grappe et en développant une somme pondérée de ces fonctions comme suit:

$$p(x_i | d_m) = \sum_{c=1}^{N_{mc}} \frac{NC_m}{N_m} \frac{1}{(2\pi)^{p/2} |C_{mc}|^{1/2}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} (x_i - xm_{mc})^T C_{mc}^{-1} (x_i - xm_{mc}) \right\} \quad (G-42)$$

où  $p$  est le nombre de paramètres (dimensions) dans le vecteur  $x_i$ ,  $N_{mc}$  est le nombre de vecteurs attribués à la  $c$ ème grappe de la  $m$ ème distorsion,  $NC_m$  est le nombre de grappes dans la  $m$ ème distorsion et  $N_m$  est le nombre total de vecteurs d'apprentissage dans la  $m$ ème distorsion. En général, on utilisera l'équation (G-41) pendant la phase d'évaluation et de sélection des caractéristiques, tandis que la fonction gaussienne mixte (G-42) servira à définir le discriminant.

La probabilité de la distorsion  $d_m$  sera donnée par

$$P(d_m | x_i) = p(x_i | d_m) / \sum_{j=1}^{N_d} p(x_i | d_j) \cdot P(d_j) \quad (G-43)$$

où  $N_d$  est le nombre de distorsions et  $P(d_j)$  la probabilité de base de la distorsion  $d_j$ .

On peut ensuite obtenir une estimation de la fonction de probabilité de note d'opinion  $P(\omega_q | x_i)$ . Il s'agit de la probabilité d'accorder la note d'opinion  $\omega_q$  lorsque les classes ( $q$ ) vont de 1 (mauvais) à 5 (excellent). On peut interpréter cette fonction comme la fréquence prédictive des notes données par un jury d'auditeurs en présence d'un vecteur paramétrique de signaux vocaux d'essai,  $x_i$ . Cette relation est donnée par l'équation suivante:

$$P(\omega_q | x_i) = \sum_{m=1}^{N_d} m S(d_m | x_i) \cdot P(\omega_q | x_i, d_m) \quad (G-44)$$

dans laquelle  $S(\omega_q | x_i, d_m)$  est un histogramme construit sur la base d'essais subjectifs concernant la distorsion  $d_m$  et est la fraction des votes émis par les auditeurs pour la note de qualité  $\omega_q$ .

On obtiendra ainsi la note moyenne d'opinion prédictive:

$$MOS_i = \sum_q q \cdot P(\omega_q | x_i), (q = 1, \dots, 5)$$

$$MOS = E \{ MOS_i | x_i \} \quad (G-45)$$

où  $E\{\ast\}$  est l'opérateur d'espérance mathématique, que l'on peut approcher par intégration de toutes les trames de l'enregistrement de paroles.

**Appendice I**  
(au paragraphe 3.2.2)

**Programmes d'informatique utilisés**

**I.1 Programme d'informatique n° 1**

```
10 PRINT "CALCULATION OF INFORMATION INDEX FOR MNRU"
20 REM New frequency weighting, Ti from BOSQUET
30 REM PROGRAM IIQCME.BAS, December 1988, written in MF BASIC
40 INPUT "SYSTEM"; S$
50 INPUT "MOS"; Y$
60 DATA .05457, 4.1, .04733, 5.6, .06682, 6.4, .07497, 6.9, .06546, 7.4, .06622, 7.8, .05585, 8, .054, 8, .05273, 8.2,
    .05117, 8.2
70 DATA .04517, 8.2, .04706, 8.2, .05073, 8.2, .05561, 8.2, .0631, 8.2, .06886, 8.1
80 REM Calculation for MNRU
90 FOR J = 1 TO 16
100 PRINT "Qseg over the band No"; J
110 INPUT QS
120 READ B, C
130 Q = QS + C
140 V = 3/(.1 + 10^(-Q/10))
150 I = B * V
160 II = II + I
170 NEXT J
180 REM Display of results
190 PRINT S$, "II ="; II
200 LPRINT " "; S$, TAB(20); II; TAB(30); Y$; TAB(40)
210 END
```

**I.2 Programme d'informatique n° 2**

```
10 PRINT "CALCULATION OF INFORMATION INDEX FOR CODECS"
20 REM New frequency weighting, Ti from BOSQUET, revised equivalence with MNRU
30 REM PROGRAM IIQCDE.BAS, December 1988, written in MF BASIC
40 INPUT "SYSTEM"; S$
```

```

50 INPUT "MOS"; Y$
60 K = 4.3429
70 DATA .05457, 4.1, .04733, 5.6, .06682, 6.4, .07497, 6.9, .06546, 7.4, .06622, 7.8, .05585, 8, .054, 8, .05273, 8.2,
    .05117, 8.2
80 DATA .04517, 8.2, .04706, 8.2, .05073, 8.2, .05561, 8.2, .0631, 8.2, .06886, 8.1
90 INPUT "QSEG over the band-QP = d (0 for PCM)"; SM
100 REM Input of Qs in each band
110 FOR J = 1 TO 16
120 PRINT "Qseg over the band No"; J
130 INPUT QS
140 READ B, C
150 QC = QS + C
160 GOSUB 270
170 REM Calculation of Information Index
180 V = 3/(.1 + 10^(-Q/10))
190 I = B * V
200 II = II + I
210 NEXT J
220 REM Display of results
230 PRINT S$, "II ="; II
240 LPRINT " "; S$, TAB(20); SM; TAB(30); II; TAB(40); Y$; TAB(50)
250 END
260 REM Calculation of equivalent Q
270 IF QC > -3.57 THEN QMC = K * LOG(EXP((QC + 5.15)/K) - 1)
280 IF QC < -3.57 THEN R2 = .15968 * QC - .71265 ELSE 320
290 D2 = (EXP (R2) - 1) / (EXP (R2) + 1)
300 Q = QC + D2 * SM
310 RETURN
320 IF QC < 0 THEN Q = QC + SM * (.276 * QC + .3859) ELSE 340
330 RETURN
340 R1 = .12543 * QC + .62185
350 D1 = (EXP (R1) - 1) / (EXP (R1) + 1)
360 Q = QMC + D1 * SM
370 RETURN

```



**Appendice II**  
(aux paragraphes 3.2.2 et 3.3)

```

10 PRINT "Calculation of Information Index for NTT 600 sets (7 dB line)"
15 PRINT "with a mixture of white and exchange noise."
20 REM Program IIMNT6RE, written in MF Basic, August 1990
30 INPUT "Room noise, dBA="; RN
40 INPUT "STMR, dB="; STMR
50 INPUT "Circuit noise level (dBm, sign changed) at input to 0 dB RLR end"
60 ICN0=-I
70 INPUT "Listening (L) or conversation (C) or terminate (T)"; AS
80 IF AS="T" GOTO 640
90 IF AS="C" GOTO 560
100 INPUT "Overall loudness rating (P79), dB="; OLR
110 LPRINT " OLR="; OLR
120 GOSUB 730
130 REM Correction for excessive loudness
140 IF OLR>OPT GOTO 380
150 X=2*OPT-OLR
160 GOTO 390
170 DIM FE(20), CN(20), ST(20), EL(20), BKL(20), S(20), BJ(20), CJ(20), OLA(20)
180 DATA -76.2, -29.2, -4.2, 32.4, 37.5, 56.4, .00804, 0, 85.3
190 DATA -28.9, 5.5, -3.1, 31.2, 30.5, 61.5, .01042, 1.25, 40.5
200 DATA -15.8, 8.1, .7, 29.5, 22.5, 62.9, .0138, 2, 29.5
210 DATA -2.6, 10.3, 5.5, 27.6, 13.4, 64.7, .01788, 2.6, 18.4
220 DATA 9.2, 11.9, 12.6, 26.2, 7.4, 64.4, .02392, 3.5, 8.4
230 DATA 16.8, 13.4, 16.3, 22.3, .6, 61.1, .03246, 4.9, 1.1
240 DATA 19.8, 13.2, 16.5, 22.7, -3.7, 60.2, .04471, 5.8, -9
250 DATA 18.9, 12, 13.4, 21.1, -7.2, 59.8, .05981, 6.35, -1.1
260 DATA 15.7, 10.7, 8.8, 17.4, -8.9, 56.7, .07789, 7.25, -1
270 DATA 14.7, 9.9, 5.9, 9.3, -11.2, 52.8, .0839, 7.35, -1.2
280 DATA 14.5, 9.7, 4.8, 2.7, -11.3, 48, .0899, 7.8, -1.6
290 DATA 13, 9.9, 3.5, -9, -9.7, 45.6, .09627, 8.05, -1.5
300 DATA 13.8, 9.2, 4.8, -7.1, -8.1, 44.4, .10376, 8.25, -9
310 DATA 13.6, 9.5, 5.4, -12.4, -5.4, 41.8, .11097, 8.3, -3.5
320 DATA 6.3, 11.3, -1.8, -20.4, -4.1, 39.2, .11859, 8.18, -5.1
330 DATA -5.3, 6.4, -15.2, -19.2, -7.1, 35.1, .12694, 7.95, .8
340 DATA -102.5, -23, -24.9, -28.1, -4.2, 31.4, .13607, 7.57, 96.7
350 DATA -263.6, -64.5, -40.5, -38.4, -2.5, 28.2, .14506, 7.25, 259.2
360 DATA -267.2, -67.2, -44.6, -51.3, 1.4, 26.5, .15487, 7.2, 263.3
370 DATA -292.9, -77.2, -59.6, -66.6, 6, 25.9, .16554, 6.8, 281.3

```

```

380 X=OLR
390 DEF FNP (Y)=10^(Y/10)
400 IN=0
410 FOR J=1 TO 20
420 READ FE, CN, ST, EL, BKL, S, BJ, CJ, OLA
425 REM Calculation and composition of signal to noise and equivalent ratio
430 PN=FNP(FE+RN-50-X+5)+FNP(CN+ICN0+60)+FNP(ST+RN-50-STMR+15)+FNP(EL+RN-50)
440 ZN=S-OLA-X+5-4.343*LOG(PN)
450 ZA=S-7.8-OLA-X-BKL
460 IF ZA>0 THEN PE=(1+ZA/9.5)^2-1: GOTO 470
465 PE=10^(-10)
470 P=FNP (-ZN)+1/PE
480 Z=-4.343*LOG(P)
490 GOSUB 660
500 G=BJ*V
510 IN=IN+G
520 NEXT J
530 PRINT "IN="; IN; "OPT="; OPT
540 LPRINT "RN(dBA)="; RN; "STMR(dB)="; STMR; "X(dB)="; X; "ICN0(dB)="; ICN0
545 LPRINT "OPT="; OPT; "IN="; IN
550 GOTO 70
560 RESTORE
570 REM Speech power correction for sidetone and quality of conversation
580 IF STMR>13 THEN 590 ELSE 610
590 CS=0
600 GOTO 620
610 CS=.3*(STMR-13)
620 X=X-CS+.4085*IN-9.87
630 GOTO 390
640 END
650 REM Equivalence law and calculation of V
660 IF Z<1.74 THEN 670 ELSE 690
670 Q=Z+CJ
680 GOTO 700
690 Q=.494*Z+.88+CJ
700 V=3/(.1+10^(-Q/10))
710 RETURN
720 REM Determination of optimum OLR
730 IF RN<30 THEN DS=-2.4: GOTO 750
740 DS=.006*(RN-30)^2-2.4
750 RNS=RN-112.6+DS-STMR
760 RNL=RN-116
770 PC=10^(ICN0/10)
780 PRL=10^(RNL/10)
790 PRS=10^(RNS/10)
800 NT=4.343*LOG (PC+PRL+PRS+10^ (-8))
810 OPT=7.5-.14*(NT+80)
820 RETURN

```

## Appendice III (au paragraphe 3.3.2)

### Calcul des DATA de l'Appendice II à partir des données primaires

#### III.1 Définition des données primaires

Les données primaires comprennent les spectres de bruit et les caractéristiques électroacoustiques du type de poste téléphonique employé.

##### III.1.1 Spectres de bruit

Le Tableau III.1 indique le spectre BDR du bruit de salle (du type Hoth) pour lequel  $RN = 50$  dBA. Il indique aussi les spectres de bruit de circuit correspondant à  $ICNO = -60$  dBmp; NDW correspond au bruit blanc, NDC au bruit mixte de la dernière colonne du Tableau C.1 (spectre de bruit utilisé par OPINE) dont le niveau a été abaissé de 7,9 dB (puisqu'il correspond à  $ICN = -56$  dBmp et  $RLR = -3,9$ ).

##### III.1.2 Caractéristiques électroacoustiques

Celles des systèmes locaux, définies dans les Recommandations P.64 et P.79, sont:

|            |  |
|------------|--|
| $S_{UMJ}$  | efficacité à l'émission  |
| $S_{UJE}$  | efficacité à la réception (mesurée sur une oreille artificielle)   |
| $L_{MEST}$ | affaiblissement du trajet d'effet local, mesuré avec bouche et oreille artificielles   |
| $L_{RNST}$ | affaiblissement du trajet d'effet local, mesuré dans un champ diffus de bruit de salle de 50 dBA, avec une oreille artificielle. |

A titre de variante, on peut déterminer  $DSM = L_{MEST} - L_{RNST}$  comme différence entre l'efficacité du système émetteur pour un bruit de salle en champ diffus et  $S_{UMJ}$  (voir 9/P.64).

On a aussi besoin des caractéristiques suivantes:

|           |   |
|-----------|---|
| LE        | correction pour passer de l'oreille artificielle à l'oreille humaine (6/P.79)   |
| $L_{RNE}$ | affaiblissement de la fuite entre l'oreille de l'auditeur et le pavillon de l'écouteur, mesuré sur une oreille humaine. |

La ligne de jonction (représentant le reste de la connexion) est caractérisée par

|       |  |
|-------|--|
| $D_1$ | distorsion d'affaiblissement                           |
| XL    | affaiblissement réglable, indépendant de la fréquence. |

NOTE – L'indice d'information est calculé à l'extrémité de la connexion où se trouve l'auditeur; on ajoute un  $d$  pour les caractéristiques à l'extrémité éloignée (celle du locuteur).

## III.2 Relations

### III.2.1 Caractéristiques de transmission (voir 3.3.2.2 ci-dessus)

On calcule d'abord les équivalents de la sonie à l'émission (SLR) et à la réception (RLR), et STMR, à partir des caractéristiques électroacoustiques selon la Recommandation P.79, ainsi que la valeur de XL qui rend l'ES global (OLR) égal à 5 dB.

A chaque fréquence, l'affaiblissement global entre MRPd et une oreille artificielle en ERP, correspondant à OLR = 5 dB, est alors

$$OLA = - S_{UMJd} + D1d + XLd - S_{UJE}$$

### III.2.2 Effet des seuils (voir 3.3.3.3)

D'après l'article V.2 de [24], en l'absence de bruit on a:

$$ZA = S - OLA - (X - 5) - LE - (BK + 12,8)$$

Il est recommandé de poser  $BKL = BK + LE$  et on peut écrire

$$ZA = S - OLA - X - BKL - 7,8$$

comme à la ligne 450 de l'Appendice II.

### III.2.3 Composantes du bruit (voir 3.3.2.3)

Elles sont calculées d'après les relations suivantes:

$$\begin{aligned} FE &= BDR - OLA + DSMd \\ CN &= ND + S_{UJE} + 94 \\ ST &= BDR - L_{RNST} - (15 - STMR) \\ EL &= BDR - L_{RNE} \end{aligned}$$

## III.3 Exemple

En plus de ND et BDR, le Tableau III.1 indique les caractéristiques électroacoustiques d'un poste téléphonique NTT 600 avec une ligne de 7 dB.

### NOTES

1 Il semble que la valeur de  $L_{MESTi}$  du Tableau D.1 (sensibilité des circuits téléphoniques locaux) ait été déterminée sur une oreille artificielle et  $L_{RNSTi}$ , sur une oreille humaine avec un bruit de salle de 60 dBA. La valeur de  $L_{RNE}$  du Tableau 4-4 a évidemment été mesurée sur une oreille humaine.  $L_{MEST}$  et  $L_{RNE}$  ont donc été tous deux déterminés dans le cas d'un bruit de salle intense où l'auditeur applique étroitement le récepteur à son oreille et l'on ne doit pas appliquer la correction LE au calcul de ZN.

2 Puisque dans cet exemple nous considérons des communications symétriques, la lettre *d* a été omise. Si RNd était différent de RNn, on devrait corriger le terme qui comprend FE à la ligne 440 de l'Appendice II.

Les calculs expliqués ci-dessus donnent:

$$SLR = 6,6 \quad RLR = -3,9 \quad STMR = 7 \quad XL = 1,3$$

et les données aux lignes 180 à 370 de l'Appendice II.

TABLEAU III.1

## Exemple de données primaires

| Fréquence |    | Spectres du bruit     |                          | Caractéristiques électroacoustiques<br>(postes téléphoniques NTT 600, ligne de 7 dB) |                             |                       |                  |                  |                 | 1 filtre<br>SRAEN |
|-----------|----|-----------------------|--------------------------|--|-----------------------------|-----------------------|------------------|------------------|-----------------|-------------------|
| kHz       | N° | NDC<br>dB<br>(1 V/Hz) | BDR<br>dB<br>(20 µPa/Hz) | $S_{UMJ}$<br>dB<br>(1 V/Pa)  | $S_{UJE}$<br>dB<br>(1 Pa/V) | NDW<br>dB<br>(1 V/Hz) | $L_{RNST}$<br>dB | $L_{MEST}$<br>dB | $L_{RNE}$<br>dB | $D_1$<br>dB       |
| 0,1       | 1  | -83,15                | 32,43                    | -22,30   | -40,00                      | -110,90               | 28,6             | 5,30             | 0,00            | 21,70             |
| 0,125     | 2  | -85,83                | 31,23                    | -25,10   | -2,70                       | -109,70               | 26,3             | 6,70             | 0,00            | 11,40             |
| 0,16      | 3  | -88,37                | 29,53                    | -23,80   | 2,50                        | -108,00               | 20,8             | 5,00             | 0,00            | 6,90              |
| 0,2       | 4  | -90,96                | 27,63                    | -18,80   | 7,30                        | -106,10               | 14,1             | 2,30             | 0,00            | 5,60              |
| 0,25      | 5  | -93,36                | 26,23                    | -14,40   | 11,30                       | -103,50               | 5,6              | -3,00            | 0,00            | 4,00              |
| 0,315     | 6  | -95,19                | 23,03                    | -12,30   | 14,60                       | -100,70               | -1,3             | -6,40            | 0,70            | 2,10              |
| 0,4       | 7  | -96,68                | 22,73                    | -12,50   | 15,90                       | -99,50                | -1,8             | -5,60            | 0,00            | 1,20              |
| 0,5       | 8  | -97,66                | 21,13                    | -12,60   | 15,70                       | -98,90                | -0,3             | -3,60            | 0,00            | 0,70              |
| 0,63      | 9  | -98,22                | 19,63                    | -12,30   | 14,90                       | -98,60                | 2,8              | -2,10            | 2,20            | 0,30              |
| 0,8       | 10 | -98,47                | 17,83                    | -11,90   | 14,40                       | -98,40                | 3,9              | -0,40            | 8,50            | 0,00              |
| 1         | 11 | -98,76                | 16,23                    | -11,60   | 14,50                       | -98,40                | 3,4              | 0,10             | 13,50           | 0,00              |
| 1,25      | 12 | -98,91                | 14,63                    | -12,00   | 14,80                       | -98,50                | 3,1              | 0,00             | 15,50           | 0,00              |
| 1,6       | 13 | -98,9                 | 12,93                    | -12,00   | 14,10                       | -98,50                | 0,1              | 0,10             | 20,00           | -0,10             |
| 2         | 14 | -98,85                | 11,33                    | -9,80  | 14,40                       | -98,40                | -2,1             | -3,30            | 23,70           | -0,20             |
| 2,5       | 15 | -98,88                | 9,63                     | -10,00   | 16,20                       | -97,90                | 3,4              | -5,00            | 30,00           | -0,20             |
| 3,15      | 16 | -99,09                | 7,83                     | -11,00   | 11,50                       | -101,20               | 15,0             | 2,70             | 27,00           | 0,00              |
| 4         | 17 | -125,85               | 5,43                     | -16,80   | 8,90                        | -148,80               | 22,3             | 11,10            | 33,50           | 87,50             |
| 5         | 18 | -128,45               | 2,63                     | -27,90   | -30,00                      | -198,80               | 35,1             | 28,10            | 41,00           | 200               |
| 6,3       | 19 | -131,15               | -1,27                    | -32,00   | -30,00                      | -198,80               | 35,3             | 32,70            | 50,00           | 200               |
| 8         | 20 | -131,15               | -6,57                    | -40,00   | -40,00                      | -198,80               | 45,0             | 40,00            | 60,00           | 200               |

## Références

- [1] CAVANAUGH (J. R.), HATCH (R. W.) et SULLIVAN (J. L.): Models for the subjective effects of loss, noise and talker echo on telephone connections, *Bell System Technical Journal*, vol. 55, n° 9, pp. 1319-1371, novembre 1976.
- [2] SULLIVAN (J. L.): A laboratory system for measuring loudness loss of telephone connections, *Bell System Technical Journal*, vol. 50, n° 8, pp. 2663-2739, octobre 1971.
- [3] CAVANAUGH (J. R.), HATCH (R. W.) et NEIGH (J. L.): A model for the subjective effects of listener echo on telephone connections, *Bell System Technical Journal*, vol. 59, n° 6, pp. 1009-1060, juillet-août 1980.
- [4] CCITT – Contribution COM XII-N° 13 (Bell-Northern Research), de la période d'études 1981-1984, Genève, 1981.

- [5] CCITT – Contribution COM XII-N° 14 (Bell-Northern Research), de la période d'études 1981-1984, Genève, 1981.
- [6] DAUMER (W. R.) et CAVANAUGH (J. R.): A subjective comparison of selected digital codecs for speech, *Bell System Technical Journal*, vol. 57, n° 9, pp. 3119-3165, novembre 1978.
- [7] CCITT – Contribution COM XII-N° 173 (American Telephone and Telegraph Company), de la période d'études 1977-1980, Genève, 1979.
- [8] CCITT – Contribution COM XII-N° 94 (American Telephone and Telegraph Company), de la période d'études 1981-1984, Genève, 1982.
- [9] CCITT – Contribution COM XII-N° 159 (American Telephone and Telegraph Company), de la période d'études 1977-1980, Genève, 1979.
- [10] CCITT – Contribution COM XII-N° 158 (American Telephone and Telegraph Company), de la période d'études 1981-1984, Genève, 1983.
- [11] AHERN (W. C.), DUFFY (F. P.) et MAHER (J. A.): Speech signal power in the switched message network, *Bell System Technical Journal*, vol. 57, n° 7, pp. 2695-2726, septembre 1978.
- [12] CUMMISKEY (P.), JAYANT (N. S.) et FLANAGAN (J. L.): Adaptive quantization in differential PCM coding of speech, *Bell System Technical Journal*, vol. 52, n° 7, pp. 1105-1118, septembre 1973.
- [13] RICHARDS (D. L.): Calculation of opinion scores for telephone connections. *Proc. I.E.E.*, vol. 121, n° 5, pp. 313-323, mai 1974.
- [14] CCITT – Contribution COM XII-N° 113, Remarques sur la structure d'un modèle d'évaluation d'une communication téléphonique, période d'études 1977-1980, Genève, octobre 1978.
- [15] CCITT – Contribution COM XII-N° 129, Utilisation d'un modèle pour l'évaluation de communications téléphoniques pour l'étude de la Question 15/XII, période d'études 1977-1980, Genève, février 1979.
- [16] WEBB (P. K.): The background and philosophy of the telephone network assessment program (CATNAP), British Post Office Research Department Report n° 752, 1979.
- [17] *Prévision de la qualité de transmission à partir de mesures objectives*, Livre jaune, tome V, Supplément n° 4, UIT, Genève, 1981.
- [18] RICHARDS (D. L.): Telecommunication by speech: The transmission performance of telephone networks, chapitre 3, *Butterworths*, Londres, 1973.
- [19] RICHARDS (D. L.): Telecommunication by speech: The transmission performance of telephone networks, chapitre 2, *Butterworths*, Londres, 1973.
- [20] RICHARDS (D. L.): Telecommunication by speech: The transmission performance of telephone networks, pp. 57, *Butterworths*, Londres, 1973.
- [21] RICHARDS (D. L.): Transmission performance of telephone networks containing PCM Links, *Proceedings of the I.E.E.*, vol. 115, n° 9, pp. 1245-1258, septembre 1968.
- [22] Manuel du CCITT *Planification de la transmission dans les réseaux téléphoniques à commutation*, chapitre II, annexe 3, UIT, Genève, 1976.
- [23] BOERYD (A.): Subscriber reaction due to unbalanced transmission levels, *Third International Symposium on Human Factors in Telephony*, 1966, pp. 39-43, La Haye, 1967.

- [24] LALOU (J.): The information index: an objective measure of speech transmission performance. *Annales des Télécommunications*, vol. 45, n° 1-2, pp. 47-65, 1990.
- [25] RICHARDS (D. L.): Calculation of opinion scores for telephone connections, *Proc. I.E.E.*, vol. 121, n° 5, pp. 313-323, mai 1974.
- [26] ALCAIM (A.): Essai de détermination d'un indice objectif de mesure de la qualité des codeurs, *CNET*, Rapport RP/LAA/TSS/208, mai 1984.
- [27] RICHARDS (D. L.): private communication.
- [28] OPINE (Rev. 2.0): Electrical Communication Laboratories NTT, septembre 1986.
- [29] RICHARDS (D. L.), BARNES (G. J.): Pay-off between quantizing distortion and injected circuit noise, in *Proc. ICASSP 82*, vol. 2, pp. 984-987, Paris, mai 1982.
- [30] CCITT – Contribution COM XII-N° 174, Modèle de mesure objective des facteurs fondamentaux de la qualité de transmission, (NTT), Genève, 1983.
- [31] CCITT – Contribution COM XII-N° 235, Méthode de calcul du modèle d'indice global de comportement pour l'évaluation du réseau (OPINE), (NTT), Genève, 1984.
- [32] CCITT – Contribution COM XII-N° 10, Objective evaluation of telephone transmission performance for fundamental transmission factors and quantizing distortion, (NTT), Genève, 1985.
- [33] OSAKA (N.) et KAKEHI (K.): Objective model for evaluating telephone transmission performance, *Review of ECL*, vol. 34, n° 4, 1986.
- [34] IAI (S.) et IRII (H.): Subjective assessment of echo delay time effect, *Conference record of Acoust. Soc. of Japan*, 2-7-8, (1983-03) (en japonais).
- [35] IAI (S.) et autres: A study on subjective assessment of telephone speech sidetone, *Conference record of Acoust. Soc. of Japan*, 2-2-3, (1978-05) (en japonais).
- [36] OSAKA (N.) et KAKEHI (K.): A study on the psychological factors that affect the opinion evaluation of telephone transmission performance, *Trans. IECE*, vol. J69-A, n° 5, 1986 (en japonais).
- [37] IRII (H.): Loudness equivalent attenuation of speech in the presence of noise, *Conference record of Acoust. Soc. of Japan*, 1-4-6, (1975-05) (en japonais).
- [38] Recommandation R226 de l'ISO: Lignes isosoniques normales pour sons purs écoutés en champ libre et seuil d'audition binaurculaire en champ libre, décembre 1961.
- [39] CAVANAUGH (J. R.), HATCH (R. W.) et SULLIVAN (J. L.): Models for the subjective effects of loss, noise and talker echo on telephone connections, *Bell System Technical Journal*, vol. 55, n° 9, novembre 1976.
- [40] Recommandation du CCITT *Mesure de l'AEN d'un système téléphonique commercial (à l'émission et à la réception) par comparaison avec le SRAEN*, Livre jaune, tome V, Rec. P.45, UIT, Genève, 1981.
- [41] CCITT – Contribution COM XII-N° 175, BNR, Canada, 1987.
- [42] CCITT – Contribution tardive D.79, USA, 1990.
- [43] CCITT – Contribution COM XII-N° 114, Pays-Bas, 1991.







Imprimé en Suisse

Genève, 1994