



UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

**UIT-T**

SECTEUR DE LA NORMALISATION  
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS  
DE L'UIT

**Appendice I**  
**Rec. G.764**

(11/95)

**ASPECTS GÉNÉRAUX DES SYSTÈMES  
DE TRANSMISSION NUMÉRIQUES**

---

**GUIDE DE MISE EN PAQUETS**

**Appendice I à la**  
**Recommandation UIT-T G.764**

(Antérieurement «Recommandation du CCITT»)

---

## AVANT-PROPOS

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

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

L'approbation des Recommandations par les Membres de l'UIT-T s'effectue selon la procédure définie dans la Résolution n° 1 de la CMNT (Helsinki, 1<sup>er</sup>-12 mars 1993).

L'Appendice I à la Recommandation UIT-T G.764, que l'on doit à la Commission d'études 15 (1993-1996) de l'UIT-T, a été approuvé le 13 novembre 1995 selon la procédure définie dans la Résolution n° 1 de la CMNT.

---

### NOTE

Dans le présent appendice, l'expression «Administration» est utilisée pour désigner de façon abrégée aussi bien une administration de télécommunications qu'une exploitation reconnue de télécommunications.

© UIT 1996

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>
I.1 Introduction .....	1
I.2 Historique .....	1
I.3 Récapitulatif des questions de conception .....	2
I.4 Reconstitution des signaux de parole.....	2
I.5 Compensation du retard .....	2
I.5.1 Retard en aveugle.....	3
I.5.2 Horodateur absolu.....	3
I.5.3 Horodateur relatif.....	4
I.6 Robustesse aux erreurs .....	4
I.6.1 Sensibilité de la parole aux erreurs sur les bits .....	5
I.6.2 Calcul du contrôle de redondance cyclique (CRC) sur une partie de la trame.....	5
I.6.3 Calcul du contrôle de redondance cyclique (CRC) sur des trames entières.....	5
I.7 Gestion des encombrements .....	5
I.7.1 Gestion globale .....	6
I.7.2 Gestion locale.....	6
I.8 Perte de paquets .....	8
I.8.1 Cas de la parole.....	8
I.8.2 Cas des données transmises dans la bande vocale .....	9
I.8.3 Stratégies de remplissage (parole) .....	9
I.9 Choix de la taille des paquets .....	10
I.9.1 Considérations relatives à la transmission vocale .....	10
I.9.2 Considérations relatives aux erreurs sur les bits .....	10
I.9.3 Intégration de trafic.....	10
I.9.4 Recommandation G.764.....	11
I.10 Questions relatives à la compression .....	11
I.10.1 Algorithmes de codage de la parole .....	11
I.10.2 Interpolation numérique de la parole .....	11
I.11 Signalisation voie par voie.....	12
I.12 Extensions.....	12
I.12.1 Télécopie.....	12
I.12.2 Synchronisation audio/vidéo.....	13
I.12.3 Interface entre le réseau RTPC et les réseaux locaux .....	13
I.12.4 Extension à de nouveaux algorithmes.....	14
I.13 Récapitulatif.....	14
Références .....	14



## Guide de mise en paquets

(Genève, 1995)

(Cet appendice ne fait pas partie intégrante de la présente Recommandation)

### I.1 Introduction

Cet appendice récapitule les points de vue actuels de la mise en paquets de la parole au sein de la Commission d'études 15 de l'UIT-T durant la période d'études 1992-1996 et au sein de la Commission d'études XV du CCITT durant la période d'études 1988-1992. Ces points de vue pourraient évoluer dans le futur.

Cet appendice ne couvre pas les aspects suivants:

- 1) les différents traitements auxquels des paquets peuvent être soumis à l'intérieur du réseau selon leur affectation dans des classes de priorité; il est cependant en général admis que le réseau devrait donner la priorité à la parole par rapport aux données numériques pour réduire les retards et la variabilité du retard, et à la séparation du trafic par salves par rapport au trafic en temps réel;
- 2) qualité de service pour différentes classes de trafic.

L'objet de cet appendice est le suivant:

- expliquer les différentes questions relatives à la mise en paquets de la parole;
- fournir un aperçu général des techniques et des considérations intervenant dans la transmission de la parole sous forme de paquets qui sont utilisées dans la Recommandation G.764;
- diffuser les informations sur différents sujets intéressant les concepteurs, les fabricants d'équipements de mise en paquets de la parole et les fournisseurs de service qui les utilisent.

### I.2 Historique

Traditionnellement, les services de phonie ont été mis en exploitation dans le réseau téléphonique public commuté (RTPC) [également appelé réseau régional ou WAN (*wide area network*)] en mode circuit. Le développement des techniques de transmission par paquets [par exemple X.25/X.75, Internet, la technologie des paquets à large bande, le relais de trames et le mode transfert asynchrone (ATM)] a stimulé la recherche dans les techniques nouvelles de transmission de la parole.

Les systèmes de mise en paquets peuvent exploiter la nature non permanente de la transmission pour multiplexer différents types de trafic (par exemple la voix, les données, la vidéo) de nombreux utilisateurs, afin qu'ils puissent partager de façon dynamique la largeur de bande de transmission et les ressources de commutation. La mise en paquets facilite l'intégration de différents types de trafic pour permettre une utilisation plus efficace de la largeur de bande et des ressources de commutation existantes. La mise en paquets permet davantage de souplesse que les méthodes du mode circuit, étant donné que l'en-tête du paquet contient les informations de gestion nécessaires qui désignent par exemple le type de trafic et, le cas échéant, l'algorithme de codage.

Les travaux relatifs à la mise en paquets de la parole ont commencé au sein du CCITT depuis le milieu de la période d'études 1984-1988 dans le Groupe de travail XVIII/8 et se sont poursuivis dans le Groupe de travail XV/2 pendant la période d'études 1989-1992. Ils continuent actuellement au sein de l'UIT-T pour les paquets à large bande et les systèmes en mode transfert asynchrone (ATM). L'objectif est de fournir une base uniforme pour la mise en paquets de la parole, avec ou sans la compression de la parole et avec l'interpolation numérique de la parole pour faciliter l'interfonctionnement des équipements en provenance de différents constructeurs dans le domaine des applications de télécommunications.

Les travaux au sein du CCITT ont conduit au protocole de mise en paquets de la parole contenu dans la Recommandation G.764 et ses extensions dans la Recommandation G.765. Pour la couche liaison de données, ces protocoles sont compatibles avec les protocoles LAPD et LAPF du réseau RNIS spécifiés respectivement dans les Recommandations Q.921 et Q.922.

### **I.3 Récapitulatif des questions de conception**

En utilisant comme référence la pile de protocole prévue dans l'interconnexion de systèmes ouverts (OSI), les principales considérations entrant dans la conception d'un protocole de mise en paquets de la parole sont les suivantes:

- 1) Couche 1 (couche physique) – La question est la suivante: l'interface physique sera-t-elle ou non conforme à celle des réseaux de téléphone publics (G.703/G.704) ou à celle d'autres réseaux locaux, telles qu'elles sont définies dans IEEE 802.2, 802.3 ou 802.9, etc.
- 2) Couche 2 (couche de liaison) – Certaines questions sont les suivantes:
  - a) la couche logique sera-t-elle ou non compatible avec les protocoles du réseau RNIS (LAPD/LAPF) ou aura-t-elle la même structure que celle des réseaux locaux;
  - b) comment prendre en compte la perte de trames;
  - c) la robustesse aux erreurs.
- 3) Couche 3 (procédures destinées à prendre en compte le trafic de la voix numérisée et celui des données de bande vocale), les questions étant:
  - a) la variabilité du retard pour les paquets de parole;
  - b) le transport de la signalisation voie par voie.
- 4) Les questions relatives aux couches supérieures concernent le codeur de parole et le type de compression utilisé.

Un protocole de mise en paquets de la parole répond aux critères suivants:

- La parole doit être reconstituée à l'extrémité de réception à partir de paquets arrivant à des intervalles irréguliers (ou dans le désordre pour certaines architectures particulières).
- Le protocole doit être résistant aux erreurs sur la ligne.
- Ce protocole doit comprendre une méthode simple de régulariser les encombrements dans le réseau.
- Il doit spécifier les procédures à l'extrémité de réception pour compenser la perte de paquets ou les retards excessifs.
- Il doit transmettre la signalisation voie par voie.
- Si l'interpolation numérique de la parole est utilisée pour supprimer les intervalles de silence, elle devra spécifier le niveau auquel le bruit sera réinjecté à l'extrémité de réception.

### **I.4 Reconstitution des signaux de parole**

Afin de permettre une bonne qualité de la parole, l'extrémité de réception doit reconstituer une séquence de parole continue et la restituer à des intervalles réguliers malgré des instants d'arrivée irréguliers des paquets. Cela comprend deux aspects:

- 1) le maintien de la synchronisation relative des informations à l'intérieur d'une salve de parole; et
- 2) la compensation du retard.

Dans la Recommandation G.764, un numéro de séquence des paquets est utilisé pour le codage de la synchronisation relative des informations à l'intérieur d'une salve de parole. Le premier paquet d'une salve de parole a toujours un numéro de séquence égal à 0; les paquets subséquents dans la même salve ont des numéros compris entre 1 et 15, et la numérotation recommence à partir de 1. Les extrémités de réception utilisent le numéro de séquence des paquets pour:

- 1) déterminer le premier paquet d'une salve de parole; et
- 2) détecter une perte de paquets. La détermination du premier paquet est utilisée pour la compensation du retard et peut être nécessaire pour certains algorithmes de codage tels que celui décrit dans la Recommandation G.728. La compensation du retard est développée dans le paragraphe suivant.

### **I.5 Compensation du retard**

Les retards dans la transmission par paquets comprennent deux composantes: un retard fixe et un retard variable [1]. Le retard fixe provient de la propagation du signal sur les liaisons de transmission et des retards de traitement constants aux extrémités d'origine et d'arrivée dans le réseau. La variation de retard de propagation sur un chemin donné est considérée comme étant négligeable.

En ce qui concerne la mise en paquets de la parole, les retards de traitement constants comprennent les modules suivants:

- 1) le retard de mise en paquets durant lequel les échantillons de parole sont mis en mémoire tampon avant la poursuite du traitement;
- 2) le temps de maintien du détecteur de parole si l'interpolation numérique de la parole est utilisée afin de supprimer les intervalles de silence [2];
- 3) le retard algorithmique de bout en bout en raison du codeur et du décodeur de parole – ce retard dépend de l'algorithme de codage; il est par exemple de 125  $\mu$ s pour le codage MIC, de 250  $\mu$ s pour les algorithmes du codage à modulation par impulsions et codage différentiel adaptatif (MICDA) contenus dans les Recommandations G.726 et G.727, alors qu'il est inférieur à 2 ms pour l'algorithme de la prédiction linéaire à faible retard avec excitation par code (LD-CELP) (*low delay code excited linear predictor*) contenu dans la Recommandation G.728;
- 4) tout retard supplémentaire à l'extrémité de terminaison pour éliminer la gigue provenant de la variabilité du retard – ce retard supplémentaire est appelé reconstitution.

Les retards variables proviennent essentiellement de la mise en files d'attente des paquets et du traitement associé. Ils dépendent des caractéristiques d'acheminement de chaque paquet, comme par exemple le nombre de bonds de transmission (nœuds), le type et la vitesse de chaque lien et l'intensité de trafic.

Le trafic vocal exige un retard faible et uniforme. La Recommandation G.114 (1993) explique l'effet des retards de bout en bout sur la qualité de la conversation. Les variations de retard qui peuvent être acceptables pour le trafic numérique des données, ont généralement une incidence sur les pauses entre les mots et les syllabes et ont des conséquences fâcheuses pour le mode dialogué. Les données disponibles indiquent que les variations dans les salves de la parole devraient être inférieures à 200 ms afin d'éviter la dégradation subjective de la qualité audio. Dans des applications telles que la visiophonie où des informations de type audio et vidéo simultanément sont transmises et doivent rester synchronisées, l'effet du retard variable sur cette synchronisation doit également être pris en compte.

Plusieurs méthodes permettent de masquer la variabilité du retard dans le réseau. Ces techniques comprennent:

- 1) le retard en aveugle;
- 2) l'horodateur absolu; et
- 3) l'horodateur relatif.

Ces méthodes ont pour effet d'augmenter le retard réel dans la mise en mémoire tampon et, par conséquent, le retard total de bout en bout.

### **I.5.1 Retard en aveugle**

Dans la méthode du retard en aveugle, un retard constant est toujours ajouté dans une mémoire tampon à l'extrémité d'arrivée du premier paquet d'une salve de parole. Ce retard correspond au retard variable maximal attendu.

L'avantage de l'algorithme du retard en aveugle réside dans sa simplicité qui lui donne un avantage quand la parole transmise est telle que les retards variables sont de l'ordre d'une fraction de milliseconde (par exemple dans les réseaux locaux ou les réseaux à large bande à 150 Mbit/s). Dans de tels cas, un retard constant de reconstitution de l'ordre de 10 ms sera approprié pour éliminer la gigue de retard [3].

Sur les connexions de transmission longues dans le réseau RTPC, l'algorithme peut provoquer un retard trop important de sorte que le retard total de bout en bout serait supérieur aux caractéristiques limites applicables aux retards dans le réseau qui sont spécifiées dans la Recommandation G.114. Par exemple, si le premier paquet a déjà subi un retard dans le cas de variation le plus défavorable, le retard total variable devant être ajouté sera égal à deux fois la valeur du retard correspondant au cas le plus défavorable [1]. Etant donné que cette méthode ne masque pas complètement la variabilité du retard, les pauses entre les mots peuvent être inégales, ce qui peut dégrader la qualité subjective de la parole. Le trafic de bande vocale, qui inclut la télécopie démodulée, peut être perturbé; les retards dont la durée totale est supérieure à 500 ms peuvent entraîner des déconnexions prématurées d'appels à partir de télécopieurs, en particulier en présence d'écho [4].

### **I.5.2 Horodateur absolu**

Ceci est la méthode utilisée dans les réseaux de type datagramme. L'en-tête du paquet comprend un champ pour un horodateur qui représente le temps réel. L'horodateur a une résolution suffisante pour permettre la détection précise d'une gigue de paquets, et pour couvrir le temps de propagation d'un paquet dans le réseau correspondant au cas le plus défavorable. Ainsi, les paquets qui arrivent hors de la séquence peuvent être réorganisés et mis en mémoire tampon au niveau du récepteur en utilisant les informations d'horodateur [5]. Ce mode du datagramme exige également la synchronisation des horloges entre l'émetteur et le récepteur de sorte que le retard de chaque paquet entrant puisse être comparé avec les précédents, en supposant que le retard de réseau soit constant.

### I.5.3 Horodateur relatif

Dans la méthode de l'horodateur relatif, on obtient une estimation du temps de restitution pour le premier paquet d'une salve de parole, pour tous les paquets de signalisation et pour le premier paquet après un paquet manquant. Ce temps est alors utilisé pour adapter le retard de tous les paquets restants de cette salve sur ce circuit virtuel.

Le retard variable accumulé subi par le paquet est enregistré dans le champ réservé à l'horodateur sur l'en-tête du paquet [1]. Chaque nœud de réseau ajoute à l'horodateur la quantité de temps nécessaire pour préparer un paquet avant de l'envoyer, en utilisant comme référence son horloge locale.

Le retard variable maximal autorisé pour un circuit virtuel est spécifié comme le délai de reconstitution. Celui-ci est défini pour un circuit virtuel donné. Une fois qu'une estimation du délai de reconstitution a été faite, les paquets subséquents sont placés dans le tampon de reconstitution dans l'ordre de leur numéro de séquence, puis sont mis en attente pendant la durée définie comme suit:

$$\text{temps précédant la restitution} = \text{délai de reconstitution} - \text{valeur de l'horodateur}$$

L'extrémité d'arrivée doit par conséquent enregistrer les paquets de parole entrants avant leur temps de restitution prévu et les retransmettre à intervalles réguliers. On considère que les paquets dont le champ d'horodateur dépasse le délai de reconstitution sont arrivés tardivement et ils sont éliminés.

La méthode de l'horodateur relatif est moins compliquée que la méthode de l'horodateur absolu du I.5.2 quand des circuits virtuels sont utilisés pour garantir que les paquets restent en séquence. Cet algorithme ne repose pas sur l'hypothèse de la synchronisation des horloges des extrémités et place la fonction de rythme dans la couche 3. En outre, la mesure du retard dans chaque paquet peut être utilisée pour détecter les encombrements de réseau et, partant, pour faire appel à des stratégies de gestion de surcharge.

Dans une conférence multipoint, l'introduction du délai de reconstitution améliore la dynamique du mode conversationnel parce qu'il assure que la restitution de la parole en direction de tous les participants est synchronisée.

Un inconvénient de la méthode de l'horodateur relatif est la complexité accrue des nœuds de réseau. Chaque nœud de réseau doit faire la différence entre les paquets vocaux et les paquets de données, mettre à jour le champ de marquage temporel et recalculer le contrôle de redondance cyclique (CRC). Un autre inconvénient est que le retard de bout en bout est toujours augmenté par la reconstitution, même en l'absence d'encombrement dans le réseau. Enfin, par comparaison avec la méthode du retard constant, le champ de marquage temporel ajoute des bits à l'en-tête de protocole.

En général, le choix de la valeur du délai de reconstitution est un compromis entre l'acceptation de retards trop importants et l'abandon de nombreux paquets. Etant donné qu'un circuit virtuel émule la connexion physique de circuit, le délai de reconstitution est généralement plus important pour un trafic de données numériques que pour une transmission dans la bande vocale. Pour les connexions point par point, les études de simulation ont montré que le taux nominal d'un délai de reconstitution de 10 ms selon le taux nominal aurait pour résultat que moins d'un dixième de un pour cent des paquets de parole serait supprimé dans un nœud donné en raison d'un retard excessif même pour des charges de données comprises entre 60 et 70% de la largeur de bande offerte [6]. Pour permettre une marge de sécurité, le délai de reconstitution peut être de l'ordre de 20 à 30 ms par bond. Des évaluations plus prudentes (par exemple 70 ms) peuvent être utilisées, en particulier quand la démodulation/remodulation est mise en place afin de tenir compte du temps de traitement de la démodulation de télécopie et des contraintes de traitement imposées par le protocole T.30.

Le délai de reconstitution n'est ajouté qu'une fois à l'extrémité de terminaison, de sorte que si deux réseaux de type G.764 sont raccordés en vis-à-vis, le retard est ajouté uniquement au dernier nœud. Cette caractéristique permet au concepteur/à l'exploitant de réseau de maintenir le retard total unidirectionnel dans la limite de 400 ms fixée dans la Recommandation G.114.

La Recommandation G.764 fixe la valeur maximale du délai de reconstitution à 200 ms pour prendre en charge à la fois le trafic vocal et le trafic de données numériques. Les liaisons par satellite introduisent un retard unidirectionnel de 250 ms, alors que les voies de transmission terrestres ajoutent des retards de l'ordre de 50 ms. De ce fait, lorsqu'une liaison par satellite à bond unique est utilisée, un délai de reconstitution de 50 ms environ peut permettre un retard unilatéral total d'environ 350 ms avec un très faible pourcentage de perte de paquets. Le délai de reconstitution de la parole est généralement limité à environ 70 ms pour un trajet d'au moins trois nœuds ou quand la démodulation de télécopie prévue dans la Recommandation G.765 est utilisée.

### I.6 Robustesse aux erreurs

La robustesse aux erreurs comprend deux aspects:

- 1) robustesse du codeur de parole; et
- 2) robustesse du protocole.

Dans ce paragraphe, la façon de rendre le protocole plus robuste aux erreurs sur la ligne est examinée. En particulier, on explique pourquoi il vaut mieux calculer le contrôle de redondance cyclique (CRC) sur une partie de la trame plutôt que sur l'ensemble de la trame. De cette façon, la trame n'est pas supprimée si une erreur sur les bits se produit dans le champ non protégé. Il convient de noter que de nouveaux algorithmes de codage peuvent être plus robustes à des erreurs en rafales (c'est-à-dire effaçage de trame ou perte de paquets) que le codage MIC ou MICDA.

La mise en paquets sur des circuits à 64 kbit/s sans restriction doit être prudemment utilisée pour une classe de services RNIS à bande étroite tels que les visiophones en cas d'erreurs sur la ligne. Le système de transmission par paquets transforme les erreurs aléatoires en rafales d'erreurs [7].

### **I.6.1 Sensibilité de la parole aux erreurs sur les bits**

Les erreurs sur les lignes entraînent une perte de paquets (également appelée *effaçage de trame* dans les communications hertziennes). Le trafic vocal est plus sensible à la perte de paquets qu'aux erreurs sur les bits [8], [9]. C'est pourquoi il vaut mieux restituer un paquet de parole avec certains bits erronés plutôt que de l'éliminer, ou d'essayer de récupérer les bits initiaux par retransmission. Cela s'applique tant à la parole transmise avec un codage MIC qu'à la parole comprimée si une erreur sur les bits dans un échantillon de parole a un faible impact sur la qualité de la parole. C'est un fait à présent reconnu pour la parole transmise sous forme de trame selon la procédure de commande de liaison de données à haut niveau (HDLC) [10] et pour les réseaux utilisant la procédure de contrôle de transmission TCP/IP [11].

### **I.6.2 Calcul du contrôle de redondance cyclique (CRC) sur une partie de la trame**

La Recommandation G.764 présente une variante de trame HDLC appelée «informations non numérotées» (UI) avec une vérification d'en-tête (UIH) afin de limiter les calculs du contrôle de redondance cyclique (CRC) au champ d'adresse (afin d'assurer une transmission correcte), au champ de commande (pour garantir la validité du type de trame), ainsi qu'à l'en-tête de couche 3. L'organisme ISO a généralisé le domaine d'application à tous les cas où la transmission en temps et en heure des informations est plus importante que l'intégrité des informations en cours de transfert (par exemple parole mise en paquets ou transfert d'informations périodiquement mises à jour ou applications vidéo) [12]. Le nombre de bits à protéger est déterminé par négociation en tant que paramètre du système résultant de l'échange de trames d'identification XID lors de l'établissement de liens ou par administration de réseaux.

### **I.6.3 Calcul du contrôle de redondance cyclique (CRC) sur des trames entières**

Dans certaines réalisations de mise en paquets de la parole, les constructeurs ont donné la priorité à l'utilisation de la méthode traditionnelle de calcul du contrôle de redondance cyclique (CRC) sur l'ensemble de la trame. Cela a un impact minimal sur des dispositifs HDLC existants qui ne peuvent pas effectuer le contrôle de redondance cyclique (CRC) sur une partie de la trame.

L'inconvénient d'avoir un contrôle de redondance cyclique (CRC) sur l'ensemble de la trame est que toute erreur sur les bits provoquera la perte de l'ensemble de la trame. Dans ce cas, l'usage de la parole mise en paquets se limite aux cas où le taux d'erreur est très faible. Cette restriction exclut la mise en application du protocole dans de nombreux réseaux internationaux publics et privés, à moins qu'une certaine dégradation soit acceptée.

## **I.7 Gestion des encombrements**

L'encombrement peut provenir de la nature statistique du trafic ou des actions lancées à partir du réseau. La méthode la plus fréquemment utilisée pour le contrôle du flux de parole est celle du «groupage d'appels», c'est-à-dire qu'on empêche que des nouveaux appels soient établis pendant les périodes d'occupation ininterrompues. Les mécanismes de contrôle prévus pour les flux de données ne sont pas adaptés aux réseaux vocaux, parce que les locuteurs ne peuvent pas être obligés de réduire leur débit de parole. De la même façon, de longues pauses ou des retards variables dus à des actions de contrôle similaires au contrôle de flux de données peuvent réduire l'intelligibilité de la parole [13], [14].

Dans les réseaux intégrés par paquets, deux types de techniques de gestion des encombrements peuvent exister:

- Gestion globale – L'encombrement est réduit par des procédures applicables à l'ensemble du système.
- Gestion locale – L'encombrement du nœud réduit localement l'encombrement par la réduction de la charge offerte, en réduisant la longueur des paquets ou en réduisant leur nombre. La nature du traitement varie selon la longueur du paquet qui peut être variable ou constante [comme par exemple dans le réseau à mode de transfert asynchrone (ATM)] et selon que le codeur de parole puisse ou non supporter des pertes de blocs ou de paquets.

## **I.7.1 Gestion globale**

Cette méthode empêche l'établissement de nouveaux appels. Dans les équipements de multiplication de circuits, quelle que soit la technologie utilisée, cette méthode peut être mise en œuvre par les communications avec le centre tête de ligne selon les règles du «contrôle dynamique de charge» définies dans l'Annexe A/Q.50 ou l'Annexe B/Q.50. Dans les réseaux privés, l'interface entre un commutateur privé et l'équipement de mise en paquets peut être utilisée pour bloquer cette procédure d'appel.

## **I.7.2 Gestion locale**

La gestion locale des encombrements peut être réalisée en éliminant des éléments d'un paquet, appelés «blocs», ou des paquets entiers. L'effet de l'élimination de certains blocs d'un paquet est de réduire la longueur des paquets tandis que l'effet de l'élimination des paquets est de réduire le nombre de paquets devant être transmis. La réduction de la taille des mémoires tampons de la parole qui en résulte libère une certaine largeur de bande pour un trafic non compressible par une dégradation contrôlée de la qualité de la parole [6]. Ainsi, la gestion locale dépend de la capacité du codeur de parole de fonctionner avec moins de bits et/ou de supporter des pertes de paquets.

La gestion locale permet à chaque nœud de fonctionner indépendamment, de sorte qu'il n'ait pas à assurer la coordination avec d'autres nœuds dans le sens en arrière. Cela permet d'apporter une réponse instantanée à l'encombrement du trafic dans n'importe quel nœud qui est adapté aux caractéristiques du type de trafic, sans que des changements explicites interviennent dans les messages de contrôle parmi tous les nœuds constituant le trajet des circuits virtuels.

### **I.7.2.1 Algorithmes à bits supprimables et algorithmes imbriqués**

Les algorithmes à bits supprimables sont ceux dont les mots-codes comprennent des bits essentiels et plusieurs bits d'amélioration. Ces bits essentiels sont utilisés à la fois dans le codeur et le décodeur, alors que les bits d'amélioration le sont pour réduire le bruit de quantification dans le signal reconstitué. Les bits essentiels doivent atteindre le décodeur pour éviter la désynchronisation du décodeur par rapport au codeur, mais les bits d'amélioration peuvent être éliminés afin de réduire la taille des paquets pour réduire les encombrements.

Les algorithmes à bits supprimables sont une façon commode de réduire les encombrements dans n'importe quel nœud du réseau sans qu'il soit nécessaire de modifier les messages de commande dans le trajet arrière de la connexion (en direction de l'extrémité d'origine). Il y a actuellement deux algorithmes normaux à bits supprimables, l'algorithme MIC de la Recommandation G.711 et l'algorithme MICDA de la Recommandation G.727. L'algorithme de la Recommandation G.727 est également appelé algorithme imbriqué, étant donné qu'il y a une boucle de réaction assurant la liaison entre le codeur et le décodeur. Dans un tel cas, le codeur est construit de façon que les niveaux du quantificateur aux débits élevés incluent les niveaux du quantificateur aux débits inférieurs. C'est pourquoi les bits d'amélioration peuvent être supprimés quand il y a un encombrement local, sans que la table de quantification en soit pour autant modifiée [15].

Plusieurs propositions récentes ont indiqué dans quelle mesure le codage imbriqué pouvait être réalisé pour la prédiction linéaire avec excitation par code [16], [17], [18], [19], [20], [21]. Une première version du codeur LD-CELP imbriqué calculé à partir de la Recommandation G.728 fonctionne pour des débits qui sont respectivement de 8 kbit/s, 14 kbit/s et 20 kbit/s, et permet d'obtenir la qualité des circuits téléphoniques à son débit le plus élevé [22]. Ce codeur a un retard total de traitement de 12-18 ms environ et résiste aux erreurs sur la voie lorsque le taux moyen d'erreurs sur les bits est de  $10^{-4}$ .

L'inconvénient des algorithmes imbriqués de codage est qu'ils présentent une dégradation de qualité de la parole par rapport à l'algorithme non imbriqué fonctionnant au même débit binaire. Cependant, une bonne étude du codeur peut rendre imperceptible la différence de qualité subjective entre un codeur imbriqué et le codeur correspondant à un débit fixe (par exemple dans les Recommandations G.727 et G.726 utilisant toutes les deux 4 bit/échantillon). Un autre inconvénient est que l'efficacité de la transmission s'affaiblit à mesure que le débit binaire diminue, parce que le nombre de bits d'en-tête reste constant alors que certains bits de codage sont éliminés.

#### **I.7.2.1.1 Procédés à blocs supprimables**

La technique des blocs supprimables convient parfaitement à une utilisation avec des codeurs de parole «imbriqués» parce qu'ils affectent des priorités différentes aux différents bits du train de bits codé. Pendant la mise en paquets, les bits ayant des priorités différentes peuvent ensuite être assemblés dans des blocs «séparés» de sorte que les nœuds de réseau puissent raccourcir les paquets en effaçant certains blocs prédéfinis pour réduire les encombrements (avec un impact minimal sur la qualité de la parole).

Etant donné que l'algorithme de codage MICDA imbriqué prévu dans les Recommandations G.727 et G.764 spécifie une disposition pour les échantillons qui sera telle que les bits de poids fort de tous les échantillons se retrouvent dans le même bloc, et soient suivis des bits de poids immédiatement inférieur et ainsi de suite. Ainsi, chaque bloc contient des bits de même poids pour les 128 échantillons. Le bloc 1 contient tous les bits de poids fort, le bloc 2 les bits de poids immédiatement inférieur et ainsi de suite. Le bloc essentiel contient suffisamment d'informations pour le décodage de la parole, bien qu'une qualité irréprochable soit atteinte uniquement quand les blocs essentiels et d'amélioration sont tous deux utilisés.

Un indicateur de suppression de blocs (BDI) dans l'en-tête du paquet indique le nombre maximal de blocs pouvant être éliminés et le nombre de blocs pouvant encore être supprimés. La suppression de blocs peut survenir dans n'importe quel nœud, ce qui permet aux nœuds intermédiaires de réduire le débit binaire et de réduire les encombrements en supprimant des bits dans les paquets de parole sans avoir à communiquer avec le nœud d'origine.

La simulation et les résultats d'expérimentation ont démontré qu'avec le codage MICDA le procédé à blocs supprimables permettait d'obtenir une dégradation plus progressive dans des conditions de surcharge qu'avec l'abandon de paquets [23], [24], [25], [26], [27], [28], [7]. Quand le nombre moyen de bits par échantillon diminue pour atteindre 3,97 bit/échantillon, la valeur de la note moyenne d'opinion (MOS) baisse d'environ 0,36 à partir de sa valeur pour le MIC. Pour le même taux de compression, l'effet de l'abandon de paquets est plus radical; la valeur de la note moyenne d'opinion (MOS) baisse d'environ 1,36 pour une perte de paquets de 0,54%. Avec un taux de perte de paquets de 2,2% ou de 5,3%, la différence entre les procédés à blocs supprimables et les procédés d'abandon de paquets donne une valeur de la note moyenne d'opinion (MOS) qui est respectivement de 1,4 et de 2 environ.

Les avantages du procédé à blocs supprimables sont tels qu'ils permettent une décision rapide et décentralisée. En outre, la baisse de la qualité de parole est graduelle.

Les inconvénients du procédé à blocs supprimables sont les suivants:

- 1) augmenter la complexité des nœuds de réseau;
- 2) il n'y a qu'un seul algorithme imbriqué normalisé;
- 3) la méthode pourrait ne pas être efficace pour de faibles débits binaires parce que les bits d'en-tête de paquets peuvent occuper une partie importante de la largeur de bande relative à la charge utile (à moins qu'il y ait multiplexage entre plusieurs appels ou plusieurs types de trafic dans la même trame).

#### **I.7.2.1.2 Procédés d'abandon sélectif de paquets**

Ce procédé repose sur la capacité d'abandonner des trames (des paquets) ou des cellules portant un marquage. L'idée est de diviser les trames (paquets) en trames (paquets) à priorité élevée et en trames (paquets) à faible priorité. Les trames (paquets) à priorité élevée contiennent les bits de poids fort des mots-codes (ou bits essentiels) tandis que les trames (paquets) à faible priorité contiennent les bits de moindre poids (ou bits d'amélioration) [13], [29], [30], [31]. Les blocs d'amélioration sont placés dans des trames (paquets) à faible priorité alors que les blocs essentiels se trouvent dans des trames (paquets) à priorité élevée de sorte que les blocs d'amélioration peuvent être éliminés quand l'encombrement se produit.

Des propositions ont été faites pour la transmission de la parole codée en MICDA sur des réseaux en mode transfert asynchrone (ATM) ou sur des réseaux à relais de trame réservés à la transmission de données. Par exemple, en ce qui concerne le relais de trame pour transmission de données seulement, le bit d'erreur (DE) est utilisé pour le repérage des trames pouvant être éliminées [32].

Les principaux avantages de l'algorithme d'abandon sélectif de paquets sont les suivants:

- 1) Simplicité et efficacité pour traiter les encombrements dans le réseau.
- 2) Compatibilité avec les méthodes utilisées dans les réseaux à relais de trame pour transmission de données uniquement.
- 3) Relative facilité de mise en œuvre.

Avec l'algorithme existant, la méthode présente les inconvénients suivants:

- Deux niveaux de réduction des encombrements sont considérés, alors qu'il y a au moins trois niveaux dans la Recommandation G.764. En d'autres termes, le taux de codage peut fluctuer entre deux valeurs extrêmes, par exemple entre 32 kbit/s et 16 kbit/s pour le codage MICDA imbriqué (4,2) de type G.727, c'est-à-dire avec 4 bits pour le code, répartis en 2 bits essentiels et 2 bits d'amélioration. Par contre, la Recommandation G.764 permet une dégradation plus progressive avec un débit de codage passant progressivement de 32 kbit/s à 24 kbit/s, puis à 16 kbit/s. Les résultats d'expérimentation ont indiqué que le fonctionnement était très satisfaisant jusqu'à un débit binaire moyen de 3,0 bit/échantillon [7].

- Un retard et un temps de traitement plus importants peuvent être ajoutés parce que les échantillons de parole sont répartis en paquets différents.
- Une largeur de bande de transmission plus importante est utilisée pour les bits d'en-tête de paquet.
- De façon plus significative, cet algorithme ne garantit pas que les blocs essentiels et les blocs d'amélioration restent synchronisés. Par exemple, si les blocs essentiels sont supprimés en raison d'une erreur dans le contrôle de redondance cyclique (CRC), les blocs d'amélioration peuvent toujours arriver au décodeur. En ce qui concerne le codage MICDA, cela peut entraîner la désynchronisation du décodeur par rapport au codeur, étant donné que la prédiction MICDA compte sur les bits essentiels; et la qualité de la parole subira une dégradation substantielle jusqu'à ce que la resynchronisation intervienne. La Recommandation G.764 garantit que les blocs d'amélioration n'arrivent pas sans leurs blocs essentiels.
- En dernier lieu, les paquets qui ont pris du retard sont éliminés dans la Recommandation G.764, alors que dans la méthode de Yin, *et al.*, [29], les paquets à priorité élevée sont transmis sans tenir compte de l'état d'encombrement, tandis que les paquets à faible priorité sont éliminés.

### **I.7.2.2 Algorithmes utilisant la classification**

Dans ces propositions [33], [34], le trafic vocal est classé selon des modèles de production de parole (plosives, fricatives, sons voisés, etc.). Chaque classe est codée avec un algorithme différent et a une priorité de transmission différente. L'objectif est d'adapter le traitement optimal de la voix aux caractéristiques de chaque segment. Par opposition, la Recommandation G.764 permet toujours le codage de la parole au débit maximal qui est spécifié dans l'en-tête du paquet et laisse la gestion des priorités de paquets au réseau.

## **I.8 Perte de paquets**

Comme cela a été décrit précédemment, la perte de paquets (effaçage de la trame) a plusieurs causes:

- 1) défauts de transmission;
- 2) retard excessif; et
- 3) encombrement.

Les effets de la perte de paquets dépendent du type de trafic comme cela est décrit dans les paragraphes suivants.

### **I.8.1 Cas de la parole**

La perte de paquets est perçue sous forme de pauses qui peuvent provoquer des dégradations importantes de performances. Dans le passé, les algorithmes du CCITT n'ont pas été explicitement conçus pour la robustesse à la perte de paquets. Par exemple, avec le codage MIC et le codage MICDA, si le pourcentage de trames éliminées dépasse un pour cent, la qualité de la parole peut subir une dégradation considérable [9], [10], [35]. Dans de tels cas, l'abandon de paquets ne produit pas de dégradations importantes pourvu que le pourcentage de perte de paquets soit inférieur à un pour cent.

Certains algorithmes MICDA non normalisés ont été conçus en vue d'accroître leur robustesse à la transmission hertzienne dans les bâtiments [36]. Une des spécifications du codeur UIT à 8 kbit/s est également qu'il résiste à des effaçages de trames (ou à des pertes de paquets) d'environ trois pour cent sur le canal radioélectrique.

Par ailleurs, en mars 1994, AT&T a présenté des modifications du décodeur de la Recommandation G.728 pour qu'il soit conforme au traitement des effaçages de trames dans le train de bits reçu [37]. L'idée est d'extrapoler certains paramètres quand une «trame est effacée» (c'est-à-dire quand un paquet s'est perdu). Les règles spéciales et simplifiées de décodage ne s'appliquent que dans le cas d'une perte de paquets, assurant ainsi une parfaite compatibilité avec la Recommandation G.728 en fonctionnement normal. Alors que la complexité du décodeur n'est pas accrue, la robustesse à la perte de paquets (effaçages de trames) est considérablement améliorée, comme l'indiquent les résultats de simulation utilisant les erreurs par paquets obtenues avec les outils de la bibliothèque de logiciels du CCITT/UIT. Certains résultats sont indiqués dans le Tableau I.1 pour des paquets correspondant à 10 ms.

TABLEAU I.1/G.764

**Note moyenne d'opinion (MOS) de l'algorithme LD-CELP robuste**

Codeur	Taux de perte de paquets	Note moyenne d'opinion (MOS)	
		Parole provenant du système de référence intermédiaire	Parole ne provenant pas du système de référence intermédiaire
MICDA à 32 kbit/s	0%	3,90	3,78
G.728	0%	3,90	3,79
G.728 étendu	1%	3,95	3,82
	3%	3,77	3,59

Les résultats démontrent qu'il y a plusieurs façons de bien dissimuler les effets de la perte de paquets qui n'entraîneraient pas de réduction de la note moyenne d'opinion (MOS) de l'algorithme pour une perte de paquets de un pour cent et une baisse d'environ 0,2 sur l'échelle de la note moyenne d'opinion (MOS) pour une perte de paquets de trois pour cent. Ceci est contraire aux propriétés du codage MICDA selon lesquelles la perte de paquets doit être évitée à n'importe quel prix. Il semble donc que la Recommandation G.728 puisse être étendue pour permettre d'autres abandons de paquets (bien qu'un abandon non contrôlé des paquets doive être évité). La façon de tirer parti de ces caractéristiques pour simplifier la conception des protocoles de mise en paquets doit faire l'objet d'un complément d'étude.

**I.8.2 Cas des données transmises dans la bande vocale**

Les données transmises dans la bande vocale sont plus sensibles aux erreurs aléatoires sur les bits que la parole [7]. Dans le cas des données transmises dans la bande vocale, quand un paquet est supprimé, le modem récepteur peut entrer dans une procédure de reprise s'il détecte une interruption de la porteuse. Le temporisateur de détection de perte de porteuse d'un modem est généralement compris entre 100 ms et environ 20 s. Si ce temporisateur vient à expiration, le modem se déconnecte et libère l'appel.

Si le modem est connecté à un réseau, le résultat dépendra également des procédures internes que le réseau utilisera en cas d'interruption de porteuse. Par exemple, si le réseau réagit de façon prématurée à une indication de perte de porteuse de modem, il peut déconnecter le circuit virtuel alors que le modem exécute une procédure de reprise.

Selon les caractéristiques du modem, même une erreur unique sur les bits dans l'en-tête peut déclencher cette réaction en chaîne. Ceci est évidemment un inconvénient de la transmission en mode paquet par rapport à la transmission en mode circuit quand les erreurs aléatoires sont importantes. Par contre, le mode paquet est supérieur au mode circuit pour des erreurs en rafales.

**I.8.3 Stratégies de remplissage (parole)**

Un certain nombre de stratégies de remplissage ont été proposées pour remplir les pauses de la parole reçue en raison de l'abandon ou de la perte de paquets:

- 1) Remplacer le paquet éliminé par des échantillons ayant des valeurs d'amplitude zéro [35]. Ceci est décrit dans la documentation sous le nom de *silence de substitution*.
- 2) Remplir les pauses avec du bruit injecté appelé *bruit de fond*. Cette méthode est appelée *interpolation de bruit k*.
- 3) Compenser les paquets perdus par interpolation – cette méthode peut être utilisée avec l'extension de G.728 proposée par AT&T [37].
- 4) Répéter le dernier paquet reçu – si la parole est classifiée en différentes classes, et si chaque classe est envoyée dans un paquet différent, l'algorithme de répétition peut dépendre de la classe du paquet précédent et avec le numéro de séquence [33], [34].
- 5) Extraire des segments correspondant à différentes longueurs de paquet à partir des derniers paquets reçus (ou à partir de ceux qui précèdent et suivent le paquet perdu) correspondant à quelques millisecondes avant la détection de la perte de paquets – ces segments sont alors utilisés pour remplacer le segment manquant (*adaptation des formes*) [38], [39].
- 6) Répéter la dernière forme d'onde tonale pour des segments voisés, sinon utiliser le paquet précédent [38].

Par conséquent, la substitution ou l'interpolation de bruit sont des techniques simples. La répétition des paquets demande moins de mémoire pour le traitement des signaux que la réplication de la forme d'onde tonale et que l'adaptation des formes. Ces dernières méthodes ont l'avantage de maintenir la continuité de phase aux limites entre les paquets.

## I.9 Choix de la taille des paquets

Plusieurs facteurs entrent dans le choix de la taille des paquets: le retard de mise en paquets, la robustesse aux erreurs, le retard de bout en bout, la gigue, l'en-tête, etc. Quand plusieurs types de trafic sont considérés, les spécifications pour chaque type de trafic peuvent être opposées aux autres.

### I.9.1 Considérations relatives à la transmission vocale

Les paquets pour lesquels le temps de transmission des signaux vocaux ne dépasse pas 50 ms présentent une robustesse à la perte de paquets [1], [5] (la longueur optimale étant de l'ordre de 16-32 ms), [8], [35], [40] et plus le paquet est grand, plus le nombre de bits d'en-tête est réduit. Dans la Recommandation G.764, les échantillons d'entrée de parole sont recueillis sur une période de 16 ms, ce qui correspond à 128 échantillons à la fréquence d'échantillonnage de 8 kHz.

Pour un intervalle donné de mise en paquets, la taille réelle en octets des paquets dépendra du débit binaire de l'algorithme de codage; avec un codage imbriqué, cette taille doit être adaptée à des états de réseau variables dans le temps. Dans les systèmes ATM, un nombre de bits d'en-tête plus grand est autorisé et les échantillons de parole correspondent à 6 ms enregistrés dans 47 ou 48 octets.

Dans les codeurs de signaux vocaux à faible débit, à 8 kbit/s par exemple, cette taille serait supérieure à celle prévue dans la Recommandation G.764 ou dans les systèmes ATM de façon à maintenir le nombre de bits d'en-tête dans des limites raisonnables.

### I.9.2 Considérations relatives aux erreurs sur les bits

Selon la Recommandation G.826 et la Norme ANSI/IEEE C37.1-1979, [41], les taux d'erreurs sur les bits (BER) peuvent dépasser  $10^{-4}$  pour des intervalles courts. En tenant compte de ce facteur dans le calcul de la probabilité d'erreur résiduelle et en considérant le mécanisme qui rend transparente la liaison de données à haut niveau (HDLC) par l'insertion de bits et la synchronisation par fanions, il est possible de montrer que la longueur de trame ne devrait pas dépasser 500 octets si la probabilité d'erreur résiduelle est inférieure à  $10^{-6}$  avec des taux d'erreur sur les bits de  $10^{-4}$  [42].

### I.9.3 Intégration de trafic

La durée de transmission des trames longues est plus importante que celle des trames courtes. De ce fait, quand les trames ont des longueurs différentes, les trames courtes ont un retard moyen plus important (pour une utilisation donnée des liaisons) que si les trames longues n'existaient pas [43], [44]. Cela s'explique par le fait que le temps de transmission est plus ou moins long selon la longueur des trames. Ceci est illustré dans la simulation suivante qui présente deux scénarios différents pour mélanger des trames de tailles différentes dans des proportions diverses [43].

Dans le premier cas, la moitié des trames a une longueur de 74 octets et l'autre moitié de 256 octets. Pour une utilisation des liaisons à 90%, la longueur de file d'attente moyenne est de 742,5 octets et la limite de retard pour le dixième de centile (0,1%) est de 7226,536 octets.

Si la composition du trafic est répartie de la manière suivante:

Longueur de trame (octets)	Proportion
74	40%
256	20%
512	20%
1024	10%
1500	5%
2048	5%

alors pour une même utilisation de la liaison, la longueur de la file d'attente moyenne passe à 2083 octets (c'est-à-dire qu'elle est environ trois fois supérieure) et la limite de retard à 0,1% passe à 36 171,875 (c'est-à-dire qu'elle est cinq fois supérieure). Les petites trames subissent manifestement des retards importants en présence de trames très longues. Alors que des retards importants peuvent être tolérables pour certains types de trafic, la transmission vocale (et dans une moindre mesure la télécopie) a des exigences plus sévères en ce qui concerne la variabilité du retard.

## **I.9.4 Recommandation G.764**

La Recommandation G.764 spécifie que le champ maximal des informations doit être limité à 490 octets. C'est pourquoi des trames importantes telles que celles autorisées dans la Recommandation Q.922 doivent être segmentées à l'extrémité d'origine et réassemblées à l'extrémité de terminaison.

## **I.10 Questions relatives à la compression**

Un système de transmission numérique utilise couramment deux codages de la parole. Le premier convertit les données analogiques de parole de la source en données numériques en utilisant un schéma spécial de codage pouvant comprimer les informations en éliminant la redondance. Le second est utilisé pour assurer que les informations binaires codées satisfont aux contraintes imposées par l'algorithme de transmission, par exemple en garantissant la densité de «un» logique. Ainsi, il y a deux méthodes générales pour utiliser efficacement la largeur de bande de transmission disponible:

- 1) comprimer le signal source en utilisant un algorithme approprié de codage de la parole en éliminant la redondance dans les équipements source, et
- 2) éliminer les périodes de repos, c'est-à-dire éliminer les intervalles de silence, ou du moins les coder à un débit binaire inférieur au débit binaire utilisé pour la parole.

### **I.10.1 Algorithmes de codage de la parole**

Le trafic vocal peut être codé par un des divers algorithmes normalisés de codage. Plusieurs algorithmes de codage CCITT/UIT recommandés pour la téléphonie à bande étroite apportent une qualité téléphonique normale, le codage MIC de la Recommandation G.711 (64 kbit/s), le codage MICDA de la Recommandation G.726 (à 40 kbit/s et 32 kbit/s), les algorithmes de codage à 4 bits de la Recommandation G.727 (c'est-à-dire à 32 kbit/s) et de la Recommandation G.728 (à 16 kbit/s). Chacun de ces algorithmes introduit un retard algorithmique de bout en bout qui est différent. Comme cela a été mentionné précédemment, le retard de bout en bout des algorithmes figurant dans les Recommandations G.726 et G.727 est de 250 µs alors que celui figurant dans la Recommandation G.728 est inférieur à 2 ms.

La Recommandation G.764 contient les algorithmes MIC et MICDA, alors que dans sa réalisation initiale, le mode ATM est susceptible de favoriser les systèmes MIC (sans interpolation numérique de la parole).

### **I.10.2 Interpolation numérique de la parole**

Une autre réduction du débit binaire nécessaire à la transmission vocale peut être obtenue en éliminant les périodes d'inactivité contenues dans la parole, c'est-à-dire en éliminant les intervalles de silence ou en codant le silence à un débit binaire inférieur à celui utilisé pour la parole. L'interpolation numérique de la parole par assignation de temps (TASI) (*time assignment speech interpolation*) a été d'abord utilisée pour les systèmes de câbles sous-marins analogiques, puis appliquée aux systèmes de transmission numériques par satellites. Ultérieurement, l'interpolation numérique de la parole a été combinée à un codage MICDA à débit variable [45] pour augmenter l'efficacité sur un trajet de transmission.

Un détecteur de parole extrêmement sensible est utilisé pour reconnaître que la parole est en cours de transmission [2], [46]. On détecte l'activité de parole par plusieurs mesures telles que l'énergie à court terme, les taux de passage par zéro et les séquences de bits de signe. Selon la conception, un temps de maintien est utilisé pour étendre la durée d'activité de parole et éviter la suppression de transitoires de parole. Cette prolongation diminue de façon évidente le gain de bande passante: il est donc habituellement recommandé que le détecteur de parole fonctionne de façon telle que l'activité de parole qui est trouvée par ce détecteur ne dépasse pas l'activité de parole réelle de plus de 5%. Par exemple, si l'activité de parole réelle est de 38%, alors l'activité de parole mesurée à l'interface des paquets devra être inférieure à 43%.

Il convient de noter que la qualité du détecteur de parole disposé à l'extrémité d'origine est un des facteurs importants déterminant la qualité globale de la transmission vocale. Si le détecteur de parole ne décèle pas correctement l'activité de la parole, cela pourrait avoir pour effet de supprimer le début des salves de parole, en provoquant une dégradation importante de la qualité de la transmission vocale. Par contre, en cas de trop grande sensibilité du détecteur de parole, il y aura davantage d'intervalles de silence omis, ce qui diminuera le gain de compression.

À l'extrémité de terminaison, un bruit de fond ou un bruit de remplissage peut être restitué à la place du silence afin de limiter les variations entre le silence et le bruit de fond accompagnant la parole. Le niveau du bruit de remplissage peut être spécifié dans un champ de l'en-tête de paquet. Il est nécessaire de bien choisir la puissance de bruit pour éviter le problème de «pompage de bruit», provoqué par un fâcheux contraste entre le bruit de fond durant la période de silence et le bruit de fond durant les salves de parole [47].

Il convient de noter que la protection contre les échos est nécessaire dans le réseau RTPC quand l'interpolation numérique de la parole est utilisée, étant donné que le détecteur de parole peut classer par erreur les signaux d'écho et réduire le gain de compression [48], [49]. Cela est indépendant du besoin d'annulation d'écho pour compenser le retard dû à la mise en paquets ou pour éviter la suppression de transitoires de la parole en raison d'un «gel» de voie du détecteur [50], [51].

Un protocole doit permettre de distinguer les pauses dues au silence et celles dues à des paquets manquants/éliminés. Il est nécessaire de faire cette distinction quand une reprise est utilisée pour remplacer le paquet manquant. Dans la Recommandation G.764, cette distinction est rendue possible par le *bit M de continuation*, ce qui permet à un émetteur de signaler si un paquet fait partie d'une salve ou constitue le dernier paquet d'une salve. Le bit M de continuation est mis à 1 pour tous les paquets sauf le dernier d'une salve; dans un tel cas, il est mis à la valeur 0.

Avec le mécanisme du bit M de continuation, l'extrémité de terminaison peut faire la distinction entre l'absence de paquets au moment de la restitution en raison du silence à la source et l'absence de paquets en raison de la perte de paquets pendant le transit. Quand la restitution d'un paquet se termine et quand le paquet suivant n'est pas disponible, l'extrémité de terminaison vérifie le bit M de continuation du dernier paquet. Si cette valeur est mise à 0, alors l'absence d'un paquet indique une pause réelle dans la transmission à l'extrémité d'origine du nœud transmetteur. Si la valeur du bit M de continuation du dernier paquet reçu est mise à 1, l'absence indique un paquet retardé ou un paquet perdu qui n'a pas atteint sa destination. Cette procédure permettra à l'extrémité de terminaison d'utiliser les procédures de remplissage appropriées pour le paquet de parole.

Pour un locuteur unique comme dans la technique de la téléphonie cellulaire/sans fil, des techniques de codage adaptatives peuvent être utilisées pour réaliser une réduction graduelle dans le débit binaire moyen en attribuant certains bits aux différentes parties du signal vocal. De cette façon, le débit de codage le plus faible est attribué à des pauses de diction alors que le débit de codage le plus fort est attribué aux signaux vocaux actifs.

Si le bruit de fond est codé au débit le plus faible d'un codeur à débit binaire variable, il y a moins de chances de supprimer les parties initiales des mots. En conséquence, les exigences relatives aux caractéristiques d'un détecteur de parole peuvent être moins sévères dans ce cas. Cela pourrait être intéressant dans des applications plus contraignantes quand l'interpolation numérique de la parole devient moins efficace comme un bruit de fond élevé.

### **I.11 Signalisation voie par voie**

Le protocole de mise en paquets doit également transmettre de façon transparente la signalisation voie par voie (signalisation ABCD).

Les informations devant être transmises sont de deux types: «signalisation de changement d'état» et «rafraîchissement». Une transition se produit quand l'état de signalisation est modifié, ce qui s'applique également à la présence d'alarmes. Les informations de rafraîchissement sont envoyées périodiquement pour indiquer que la liaison est encore active et pour corriger les effets de la perte de paquets relatifs aux changements d'état de signalisation.

Pour chaque connexion dans la bande vocale avec une signalisation voie par voie, la Recommandation G.764 spécifie une adresse de couche 2 pour le trafic vocal et une autre pour la signalisation. Cette commande hors bande est compatible avec la méthode employée dans le RNIS pour séparer le plan de commande et le plan utilisateur (définis dans la Recommandation I.320). L'intégration des procédures de commande et de signalisation pour toutes les sources est à présent possible tandis que le transfert des fonctions de commande et de signalisation est distinct du transfert des signaux vocaux ou des trames de données.

### **I.12 Extensions**

Ce paragraphe tient compte des extensions actuelles et futures du concept de protocole de mise en paquets de la parole.

#### **I.12.1 Télécopie**

Le cadre de la Recommandation G.764 a été complété par le trafic de la télécopie prévu dans la Recommandation G.765. Des essais ont été effectués en vue d'évaluer la qualité de transmission de la télécopie de groupe III sur les liaisons par satellite au débit binaire intermédiaire (IDR)<sup>1)</sup> (*intermediate data rate*) d'Intelsat après adaptation de G.764 pour la transmission de télécopie selon la Recommandation G.765. Dans des conditions d'essai (c'est-à-dire quand il n'y a pas de légères dégradations dans le réseau arrière des prolongements nationaux), le trafic de télécopie par mise en paquets selon

---

<sup>1)</sup> L'IDR est le service numérique à débit binaire intermédiaire d'Intelsat. Ce service permet de transmettre des signaux de parole, des données en bande vocale, des données numériques ou des données vidéo à des débits intermédiaires compris entre 64 kbit/s et 45 Mbit/s. Les voies à débit IDR utilisent des embrouilleurs V.35, la correction d'erreur directe (FEC) au débit 3/4 avec décodage à décision programmable et la modulation de type QPSK [52].

la procédure de démodulation/remodulation prévue dans la Recommandation G.765 permet d'améliorer de façon importante les performances par rapport à la transmission en mode circuit des liaisons par satellite au débit binaire intermédiaire (IDR) en termes de pages sans erreurs, pour autant que la correction directe d'erreurs (FEC) (*forward error correction*) spécifique au service ne soit pas utilisée [53], [54]. En outre, les résultats pour des pages gravement erronées indiquent que la remodulation après mise en paquets est supérieure même jusqu'à une valeur de taux d'erreur sur les bits (BER) de  $10^{-5}$ . La concentration des effets sur un paquet unique des erreurs en rafales dans les liaisons par satellite au débit binaire intermédiaire (IDR), associée à une structure de commande répartie des systèmes de paquets, réduit la fréquence de l'exposition aux erreurs et explique les améliorations considérables réalisées par la transmission en mode paquet.

### **I.12.2 Synchronisation audio/vidéo**

Lors de la transmission d'un signal vidéo en liaison avec la parole, et éventuellement des données, par l'intermédiaire du réseau RTPC, le protocole de mise en paquets peut rendre nécessaire d'envisager la synchronisation entre les informations audio et vidéo. Un résultat récent indique qu'un retard de  $\pm 80$  ms de la voie audio par rapport au canal vidéo peut avoir un effet faible ou nul sur l'intelligibilité. L'intelligibilité de la parole semble réduite avec une désynchronisation de +280 ms ou -160 ms par rapport au canal vidéo [55].

### **I.12.3 Interface entre le réseau RTPC et les réseaux locaux**

Le trafic des réseaux locaux peut être intégré par l'une des interfaces variées vers le réseau RTPC dans les nouveaux réseaux d'entreprise. Afin de maintenir une qualité élevée, il est important d'apprécier les différences entre les situations dans le réseau RTPC et les réseaux locaux pouvant affecter la mise en paquets de la parole. Par exemple:

- 1) Les réseaux publics de télécommunications ont des plans de synchronisation pour éviter le débordement ou le sous-remplissage des mémoires tampons [56]. Dans un réseau local, une telle synchronisation étroite n'est pas nécessaire et d'autres mécanismes sont disponibles pour contrôler les mémoires tampons dans les différentes stations. Toute conception de protocole multimédia (voix/données numériques/vidéo) devrait spécifier comment le récepteur peut assurer la synchronisation avec l'émetteur pour les différents types de supports d'information.
- 2) Dans un réseau local, des taux d'erreur sur les bits (BER) de  $10^{-9}$  ou mieux sont typiques. En général, les connexions du réseau RTPC traversent plusieurs pays de sorte qu'un tel taux d'erreur sur les bits ne peut pas toujours être obtenu. C'est pourquoi, lors de la transmission d'un service en bande vocale à partir d'un réseau local vers un réseau régional, le protocole du réseau local devrait tenir compte de la différence dans les taux d'erreur sur les bits.
- 3) La transmission des données du réseau local vers le réseau RTPC peut potentiellement entraîner des retards importants et une gigue élevée dans le récepteur (ou une perte de paquets) durant les périodes d'encombrement et de trafic dense. Les effets des encombrements dans un réseau local, par exemple une perte ou un retard de paquets, sont souvent compensés par des protocoles à couches plus élevées tels que le protocole TCP/IP pour le trafic de données numériques. Le protocole TCP/IP par exemple, peut faire appel à des stratégies de retransmission qui sont valables pour les données, mais ne sont pas adaptées au mode dialogué (d'un point de vue subjectif de la qualité).
- 4) Enfin, si le trafic du réseau local est de type ATM (c'est-à-dire utilisant un codage MIC à 64 kbit/s sans interpolation numérique de la parole), la largeur de bande nécessaire du côté réseau RTPC peut être trop élevée.

En bref, les différences entre le trafic RTPC et le trafic du réseau local proviennent de:

- 1) les situations dans le réseau régional qui sont plus diverses et moins prévisibles que dans un réseau local; et
- 2) il est relativement plus simple d'ajouter de la capacité à un réseau local si l'encombrement constitue un problème sur ce réseau local.

En conséquence, les contraintes sur la mise en paquets de la parole dans un réseau local peuvent être moins sévères que celles d'un réseau régional. Bien que l'encapsulation directe du trafic du réseau local soit la proposition la plus facile, cette méthode ne tient pas compte des différences ci-dessus tenant à la nature des réseaux régionaux et des réseaux locaux. Il est probable qu'une interface pour la conversion de protocole soit nécessaire pour les différents réseaux locaux et le réseau RTPC.

#### I.12.4 Extension à de nouveaux algorithmes

Sur la base des informations disponibles, il est possible d'affirmer qu'un algorithme LD-CELP imbriqué peut être conçu pour être utilisé dans des équipements de compression à la fois pour les réseaux mobiles (herztien/cellulaires) et pour les réseaux fixes. Avec un seul algorithme «universel» imbriqué, une intégration «parfaite» de nombreux services peut être réalisée et un grand nombre de problèmes d'exploitation qui se sont produits en raison de l'utilisation des codages non imbriqués et/ou incompatibles peuvent être évités.

Pour l'utilisateur final, cela optimiserait l'utilisation de la largeur de bande, tout en maintenant la qualité de service en réalisant un déploiement rapide des lignes d'accès et un nombre minimal de codages/décodages de bout en bout. On peut citer d'autres avantages tels que la rationalisation et la centralisation de l'administration de l'ensemble du réseau.

Etant donné que le réseau du futur sera plus dynamique et que ses frontières seront moins bien définies (d'un point de vue technique), les règles de commande d'accès peuvent nécessiter des changements sans que la qualité de service en soit pour autant affectée. Par exemple, un utilisateur final mobile peut vouloir communiquer à un moment donné avec un utilisateur final du réseau fixe par l'intermédiaire du réseau RTPC. Quelques minutes plus tard, le même utilisateur final peut vouloir appeler un autre utilisateur final du réseau herztien/cellulaire dans un autre pays ou sur un autre continent.

En raison du caractère évolutif de la complexité des réseaux, il serait sans conteste plus facile de diminuer le nombre de codages/décodages le long d'un trajet d'appel. En outre, la compression peut être nécessaire pour augmenter le nombre des appels pouvant être transmis sur des moyens de transmission rares. Si l'utilisateur reste en mode paquet, le problème de codage en cascade peut être évité et une dégradation plus progressive dans des conditions de surcharge pourra être obtenue en utilisant le même algorithme imbriqué sur chaque lien [57].

Durant la période finale d'études du CCITT (1988-1992), un effort important a été accompli pour étudier comment éviter les codages en cascade. Un échange de documents de liaison a eu lieu entre les Commissions d'études XV et II au sujet des implications de l'utilisation d'un circuit utilisant un équipement de multiplication de circuit numérique (EMCN) dans une connexion. Il a été reconnu que cette «situation posait des problèmes importants, non seulement dans le domaine de l'acheminement, mais également dans ceux de la qualité de service, de la gestion et de la conception des réseaux, du dimensionnement et de l'exploitation» [58]. Si ces problèmes ne peuvent pas être évités complètement, il est du moins possible d'y pallier dans le mode paquet. Ainsi, les implications des mises en cascade potentielles sur les règles de construction et d'exploitation de réseaux ne sauraient être négligées quand les activités relatives à de nouveaux codeurs commenceront.

Si le codeur imbriqué à faible débit devait faire l'objet d'un consensus, cela pourrait considérablement améliorer la qualité du service en bande vocale dans un réseau de télécommunication décentralisé.

#### I.13 Récapitulatif

Dans cet appendice, les activités de normalisation du CCITT (à présent UIT-T) dans le domaine de la mise en paquets de la parole ont été examinées. Les sujets devant faire l'objet d'un complément d'étude sont:

- 1) la mise en paquets de la parole dans les systèmes ATM; et
- 2) les extensions de la Recommandation G.764 relatives à de nouveaux algorithmes normalisés de codage pour la qualité téléphonique normale.

#### Références

- [1] MONTGOMERY (W.A.): Techniques for packet voice synchronization. *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. SAC-1, n° 6: 1022-1028, décembre 1983.
- [2] MIEDEMA (H.), SCHACHTMAN (M.G.): TASI quality – Effect of speech detectors and interpolation. *The Bell System Technical Journal*, vol. XLI, n° 4, pp. 1455-1473, juillet 1962.
- [3] SRIRAM (K.), MCKINNEY (R.S.), SHERIF (M.H.): Voice packetization and compression in broadband ATM networks. *IEEE Journal Selected Areas in Communication*, special issue on Teletraffic Analysis of ATM Systems, vol. 9 (3): 294-305, avril 1991. Also in part in the *Proc. of the ITC Seminar*, Morristown, NJ, 9-11 octobre 1990.
- [4] Secteur de la normalisation des télécommunications de l'UIT: Impact of transmission delay on Group 3 facsimile. *USA Contribution*, Questions: 4, 8, 9, 13/15, COM 15/D.26, septembre 1993.
- [5] WEINSTEIN (C.J.), FORGIE (J.W.): Experience with speech communication in packet networks. *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. SAC-1, n° 6: 963-980, décembre 1983.

- [6] SRIRAM (K.): Dynamic bandwidth allocation and congestion control schemes for voice and data multiplexing in wideband packet technology, *ICC'90*, vol. 3, pp. 1003-1009, Atlanta, GA, 15-19 avril 1990.
- [7] MONTEILLET (A.), SHERIF (M.H.), RUBIN-JAFFE (K.), BAILLY (R.), ERDREICH (M.): Expérimentation sur site d'un système de multiplication de circuits par mise en paquets, *Annales des Télécommunications*, vol. 47: (5-6), 175-179, 1992.
- [8] GRUBER (J.), STRAWCZYNSKI (L.): Subjective effects of variable delay and speech loss in dynamically managed voice systems. *GLOBECOM'82*, vol. 2: F.7.3.1-F.7.3.5, Miami, FL, novembre-décembre 1982.
- [9] GRUBER (J.G.), LE (N.H.): Performance requirements for integrated voice/data networks, *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. SAC-1, n° 6: 981-1005, décembre 1983.
- [10] SHERIF (M.H.): Overview of wideband packet protocols. *Proceedings of the 9th International Conference on Digital Satellite Communications ICDSC 9*, Session A4, pp. 135-143, Copenhagen, 18-22 mai 1992.
- [11] CASNER (S.), DEERING: First IETF Internet Audiocast, *Connexions Newsletter*, pp. 10-17, 1992.
- [12] ISO/CEI JTC 1/SC6/WG1: The Evolution of HDLC: Past! Present! Future!, *WG1 Convener (R.I.G. Prince), Project JTC 1.06.16, Doc. No. 337r*, US Contact: American National Standards Institute, 11 West 42nd Street, NY, NY 10036, 27 janvier 1993.
- [13] BIALLY (T.), GOLD (B.), SENEFF (S.): A technique for adaptive voice flow control in integrated packet networks, *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-28: 325-333, mars 1980.
- [14] BIALLY (T.), MCLAUGHLIN (A.J.), WEINSTEIN (C.J.): Voice communications in integrated digital voice and data networks, *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-28: 1478-1490, septembre 1980.
- [15] SHERIF (M.H.), BOWKER (D.O.), BERTOCCI (G.), ORFORD (B.A.), MARIANO (G.A.): Overview and performance of CCITT/ANSI embedded ADPCM algorithms, *IEEE Trans. Comm.*, vol. 41, n° 2, 391-399, février 1993.
- [16] De IACOVO (R.D.), SERENO (D.): Embedded CELP coding for variable bit-rate between 6.4 kbit/s and 9.6 kbit/s, *ICASSP 91 International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, vol. 1, pp. 681-684, Toronto, Ontario, Canada, 14-17 mai 1991.
- [17] DAVIDSON (G.), GERSHO (A.): Multiple stage vector excitation coding of speech waveforms, *ICASSP 88 International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, vol. 1, pp. 163-166, NY, 11-14 avril 1988.
- [18] LE GUYADER (A.), LOZACH (B.), MOREAU (N.): Embedded algebraic CELP coders for wideband speech coding, *Signal Processing VI Theories and Applications, Proceedings of EUSIPCO-92 Sixth European Signal Processing Conference*, vol. 1, pp. 527-530, Brussels, Belgium, 24-27 août 1992, J. Vandewable, R. Boch, M. Moonen et A. Osterlinch (eds.), Elsevier, Amsterdam, 1992.
- [19] LE GUYADER (A.), BOURSICAUT (E.): Embedded wideband VSELP speech coding with optimized codebooks, *Proceedings of IEEE workshop on speech coding for Telecommunications: Speech coding for the network of the future*, pp. 15-16, Sainte-Adèle, Québec, Canada, 13-15 octobre 1993.
- [20] TANIGUCHI (T.), OTHA (Y.), YAO (J.): Structure codebook for variable-rate CELP coding, *Proceedings of IEEE workshop on speech coding for Telecommunications: Speech coding for the network of the future*, pp. 87-88, Sainte-Adèle, Québec, Canada, 13-15 octobre 1993.
- [21] LEUNG (T.W.), LE BLANC (W.P.), MAHMOUD (S.A.): Speech coding over frame relay networks, *Proceedings of IEEE workshop on speech coding for Telecommunications: Speech coding for the network of the future*, pp. 75-76, Sainte-Adèle, Québec, Canada, 13-15 octobre 1993.
- [22] USA: Embedded LD-CELP, UIT-T SG 15 Contribution D.225, Geneva, Switzerland, 16-27 mai 1994.
- [23] BOWKER (D.O.), ARMITAGE (C.B.): Performance issues for packetized voice communication, *Proc. Nat. Comm. Forum*, 41 (3): 1087-1092, 1987.
- [24] BOWKER (D.O.), DVORAK (C.A.): Speech transmission quality of Wideband Packet Technology, *GLOBECOM'87*, vol. 3: 1887-1889, Tokyo, Japon, 15-18 novembre 1987.
- [25] DRAVIDA (S.), SRIRAM (K.): End-to-end performance models for variable bit rate voice over tandem links in packet networks, *IEEE INFOCOM'89*, vol. 3: 1617-1622, Ottawa, Canada, 23-24 avril 1989.
- [26] KARANAM (V.R.), SRIRAM (K.), BOWKER (D.O.): Performance modeling of variable bit rate voice in packet switched networks, *GLOBECOM'88*, vol. 3: 1617-1622, Hollywood, FL, 28 novembre-1<sup>er</sup> décembre 1988.

- [27] SRIRAM (K.), LUCANTONI (D.M.): Traffic smoothing effects of bit dropping in a packet voice multiplexer, *IEEE INFOCOM'88*, pp. 759-770, New Orleans, LA, mars 1988.
- [28] SHERIF (M.H.): Overview of wideband packet protocols, *Int. J. Sat. Comm.*, vol. 10, 261-268, 1992.
- [29] YIN (N.), LI (S.Q.), STERN (T.E.): Congestion control for packet voice by selective packet discards, *GLOBECOM'87*, vol. 3: 1782-1786, Tokyo, Japon, 15-18 novembre 1987.
- [30] YIN (N.), STERN (T.), LI (S.Q.): Performance analysis of a priority-oriented system, *IEEE INFOCOM'87*, pp. 856-862, San Francisco, mars 1987.
- [31] KASHORDA (M.), JONES (E.V.): Simultaneous voice/data transmission over a single 64 kbit/s ISDN bearer channel, *Proceedings of the Third IEE Conference on Telecommunications*, pp. 281-285, Heriot-Watt University, Edinburgh, UK, 1991.
- [32] Dowty Communications Ltd.: Packetized voice over frame relay: Issues and considerations, *Contribution to the frame relay forum*, mai 1992. Contact: Ted Hatala, Cray Communications, Mayze house, Westmead, Swindon, Wiltshire SN5 7UQ, Angleterre.
- [33] Da SILVA (L.A.), PETR (D.W.), FROST (V.S.): A class-oriented replacement technique for lost speech packets, *IEEE INFOCOM'89*, vol. 3: 1098-1105, Ottawa, Canada, 23-24 avril 1989.
- [34] PETR (D.W.), Da SILVA Jr. (L.A.), FROST (V.S.): Priority discarding of speech in integrated packet networks, *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 7, n° 5: 644-656, juin 1989.
- [35] JAYANT (N.S.), CHRISTENSEN (S.W.): Effects of packet losses in waveform coded speech and improvements due to an odd-even sample-interpolation procedure, *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-27, n° 2, 101-109, février 1981.
- [36] GOULD (K.W.), COX (R.V.), JAYANT (N.S.), MELCHNER (M.J.): Robust speech coding for the indoor wireless channel, *AT&T Technical Journal*, vol. 72, n° 4, pp. 64-73, juillet-août 1993.
- [37] AT&T: G.728 decoder modifications for frame erasure concealment, document n° AH-5-10, ITU-T Rapporteur's meeting, Tokyo, Japon, mars 1994. Contact: Mr. S. Hayashi, NTT, Human Interface Laboratories, Speech Laboratory, 9-11 Midori-cho 3 Chome, Musashino-shi, Tokyo 180, Japon.
- [38] GOODMAN (D.J.), LOCKHART (G.B.), WASEM (O.J.), WONG (W.C.): Waveform substitution techniques for recovering missing speech segments in packet voice communications, *IEEE Trans. Acoust. Speech, Signal Processing*, vol. ASSP-34, n° 6: 1440-1448, décembre 1986.
- [39] WASEM (O.J.), GOODMAN (D.J.), DVORAK (C.A.), PAGE (H.G.): The effect of waveform substitution on the quality of PCM packet communications, *IEEE Trans. Acoust. Speech, Signal Processing*, vol. ASSP-36, n° 3: 342-348, mars 1988.
- [40] MINOLI (D.): Optimal packet length for packet voice communication, *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-27, n° 607-611, mars 1979.
- [41] American National Standard ANSI/IEEE C37.1-1979: Definition, specification, and analysis of manual automatic, and supervisory station control and data acquisition, Sponsored by the *Substations Committee of the IEEE Power Engineering Society*, 15 décembre 1977.
- [42] HOEFFELMAN (J.): Performance de la procédure de télécommunication HDLC et adaptation aux exigences d'une haute sécurité de transmission, *Onde Electrique*, vol. 60, n° 11, 52-60, 1980.
- [43] SRIRAM (K.), SHERIF (M.H.): Frame size requirements in frame relay networks, contribution n° T1S1.1/90-185 (T1S1.2/90-128), 17 avril 1990.
- [44] SHERIF (M.H.), BOSSE (M.P.): Les paquets de bande élargie: une nouvelle technique de transmission, *Annales des Télécommunications*, 46, n° 7-8, pp. 392-407, 1991.
- [45] YATSUZUKA (Y.): High-gain digital speech interpolation with adaptive differential PCM encoding, *IEEE Trans. on Commun.*, vol. COM-30, n° 4, 750-761, avril 1982.
- [46] YATSUZUKA (Y.): Highly sensitive speech detector and high-speed voiceband data discriminator in DSI-ADPCM systems, *IEEE Trans. on Commun.*, vol. COM-30, n° 4, 739-750, avril 1982.
- [47] DVORAK (C.A.), ROSENBERGER (J.R.): Deriving a subjective testing methodology for digital circuit multiplication and packetized voice systems, *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 6, n° 2: 235-241, février 1988.
- [48] ANSI T1.508-1992: Loss Plan for Evolving Digital Networks.

- [49] Committee T1 Report No. 27: A Technical report on echo cancelling, Prepared by *TIA1.6 Working Group on Specialized Signal Processing*, Washington, D.C., novembre 1993.
- [50] KIHLSSTRÖM (L.O.), VIKLUND (N.), BRIDGEWATER (D.): The development of an open-network digital circuit multiplication equipment system, *International Journal of Satellite Communications*, vol. 8, 461-490, 1990.
- [51] SHERIF (M.H.), CLARK (R.J.), FORCINA (G.P.): CCITT/ANSI Voice Packetization Protocol, *International Journal of Satellite Communications*, vol. 8, 429-436, 1990.
- [52] Performance Characteristics for Intermediate Data Rate (IDR) Digital Carriers, *Intelsat Earth Station Standards, IESS-308 (Revision 6B)*, décembre 1992.
- [53] SHERIF (M.H.), CUEVAS (E.), LIEBERT (T.), DIMOLITSAS (S.): Improvement of the Transmission Quality of Group III Facsimile on IDR Satellite Links, Proceedings of the *First IEEE Symposium on Global Data Networking*, pp. 101-111, Le Caire, Egypte, 12-15 décembre 1993.
- [54] SHERIF (M.H.), CUEVAS (E.), LIEBERT (T.), DIMOLITSAS (S.): Transmission Quality of Group III Facsimile on IDR Satellite Links with Circuit Multiplication Equipment, *International Journal of Satellite Communications*, vol. 12, 167-180, 1994.
- [55] Royal PTT, The Netherlands: Effects of desynchronization of vision and speech on the perception of speech: Preliminary results, *Delayed Contribution D.81 to CCITT SG XII. Q.27/XII and 31/XII*, Brasilia, 6-13 septembre 1991.
- [56] REY (R.F.), Technical Editor: Engineering and operation in the Bell System, *AT&T Bell Laboratories*, 1983.
- [57] AT&T: Cellular applications of PCME, *ITU-T White Contribution COM 15-36-E*, juillet 1993.
- [58] Speech processing techniques in the international digital network, *CCITT Liaison statement from WP II/1, Q.6/II (Routing), COM II-R8*, 24.10-3.11.89, Genève, Suisse.