



UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

**UIT-T**

SECTEUR DE LA NORMALISATION  
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS  
DE L'UIT

**E.681**

(10/2001)

SÉRIE E: EXPLOITATION GÉNÉRALE DU RÉSEAU,  
SERVICE TÉLÉPHONIQUE, EXPLOITATION DES  
SERVICES ET FACTEURS HUMAINS

Ingénierie du trafic – Ingénierie du trafic des réseaux à  
protocole Internet

---

**Méthodes d'ingénierie du trafic pour les réseaux  
d'accès IP utilisant un système hybride de  
câbles coaxiaux et à fibres optiques**

Recommandation UIT-T E.681

---

RECOMMANDATIONS UIT-T DE LA SÉRIE E  
**EXPLOITATION GÉNÉRALE DU RÉSEAU, SERVICE TÉLÉPHONIQUE, EXPLOITATION  
DES SERVICES ET FACTEURS HUMAINS**

<b>EXPLOITATION DES RELATIONS INTERNATIONALES</b>	
Définitions	E.100–E.103
Dispositions de caractère général concernant les Administrations	E.104–E.119
Dispositions de caractère général concernant les usagers	E.120–E.139
Exploitation des relations téléphoniques internationales	E.140–E.159
Plan de numérotage du service téléphonique international	E.160–E.169
Plan d'acheminement international	E.170–E.179
Tonalités utilisées dans les systèmes nationaux de signalisation	E.180–E.189
Plan de numérotage du service téléphonique international	E.190–E.199
Service mobile maritime et service mobile terrestre public	E.200–E.229
<b>DISPOSITIONS OPÉRATIONNELLES RELATIVES À LA TAXATION ET À LA  COMPTABILITÉ DANS LE SERVICE TÉLÉPHONIQUE INTERNATIONAL</b>	
Taxation dans les relations téléphoniques internationales	E.230–E.249
Mesure et enregistrement des durées de conversation aux fins de la comptabilité	E.260–E.269
<b>UTILISATION DU RÉSEAU TÉLÉPHONIQUE INTERNATIONAL POUR LES  APPLICATIONS NON TÉLÉPHONIQUES</b>	
Généralités	E.300–E.319
Phototélégraphie	E.320–E.329
<b>DISPOSITIONS DU RNIS CONCERNANT LES USAGERS</b>	E.330–E.349
<b>PLAN D'ACHEMINEMENT INTERNATIONAL</b>	E.350–E.399
<b>GESTION DE RÉSEAU</b>	
Statistiques relatives au service international	E.400–E.409
Gestion du réseau international	E.410–E.419
Contrôle de la qualité du service téléphonique international	E.420–E.489
<b>INGÉNIERIE DU TRAFIC</b>	
Mesure et enregistrement du trafic	E.490–E.505
Prévision du trafic	E.506–E.509
Détermination du nombre de circuits en exploitation manuelle	E.510–E.519
Détermination du nombre de circuits en exploitation automatique et semi-automatique	E.520–E.539
Niveau de service	E.540–E.599
Définitions	E.600–E.649
<b>Ingénierie du trafic des réseaux à protocole Internet</b>	<b>E.650–E.699</b>
Ingénierie du trafic RNIS	E.700–E.749
Ingénierie du trafic des réseaux mobiles	E.750–E.799
<b>QUALITÉ DE SERVICE: CONCEPTS, MODÈLES, OBJECTIFS, PLANIFICATION DE LA  SÛRETÉ DE FONCTIONNEMENT</b>	
Termes et définitions relatifs à la qualité des services de télécommunication	E.800–E.809
Modèles pour les services de télécommunication	E.810–E.844
Objectifs et concepts de qualité des services de télécommunication	E.845–E.859
Utilisation des objectifs de qualité de service pour la planification des réseaux de télécommunication	E.860–E.879
Collecte et évaluation de données d'exploitation sur la qualité des équipements, des réseaux et des services	E.880–E.899

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

## **Recommandation UIT-T E.681**

### **Méthodes d'ingénierie du trafic pour les réseaux d'accès IP utilisant un système hybride de câbles coaxiaux et à fibres optiques**

#### **Résumé**

La présente Recommandation décrit les méthodes préférées génériques de gestion du trafic et de dimensionnement pour les réseaux d'accès IP utilisant un système hybride de câbles coaxiaux et à fibres optiques (HFC, *hybrid fiber/coax*), compte tenu des avantages et des inconvénients de la technologie d'accès par câblo-modem. Elle porte principalement sur la fourniture du service de téléphonie IP par système HFC dans un contexte d'intégration téléphonie/données. Elle décrit en outre les facteurs qui ont une incidence sur la capacité du système disponible pour les connexions téléphoniques. Les sujets examinés sont notamment le dimensionnement d'un canal amont unique, le groupage des canaux amont et l'interopérabilité des protocoles DOCSIS 1.0 et DOCSIS 1.1.

#### **Source**

La Recommandation E.681 de l'UIT-T, élaborée par la Commission d'études 2 (2001-2004) de l'UIT-T, a été approuvée le 29 octobre 2001 selon la procédure définie dans la Résolution 1 de l'AMNT.

## AVANT-PROPOS

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

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

L'approbation des Recommandations par les Membres de l'UIT-T s'effectue selon la procédure définie dans la Résolution 1 de l'AMNT.

Dans certains secteurs des technologies de l'information qui correspondent à la sphère de compétence de l'UIT-T, les normes nécessaires se préparent en collaboration avec l'ISO et la CEI.

## NOTE

Dans la présente Recommandation, l'expression "Administration" est utilisée pour désigner de façon abrégée aussi bien une administration de télécommunications qu'une exploitation reconnue.

## DROITS DE PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

L'UIT attire l'attention sur la possibilité que l'application ou la mise en œuvre de la présente Recommandation puisse donner lieu à l'utilisation d'un droit de propriété intellectuelle. L'UIT ne prend pas position en ce qui concerne l'existence, la validité ou l'applicabilité des droits de propriété intellectuelle, qu'ils soient revendiqués par un Membre de l'UIT ou par une tierce partie étrangère à la procédure d'élaboration des Recommandations.

A la date d'approbation de la présente Recommandation, l'UIT avait été avisée de l'existence d'une propriété intellectuelle protégée par des brevets à acquérir pour mettre en œuvre la présente Recommandation. Toutefois, comme il ne s'agit peut-être pas de renseignements les plus récents, il est vivement recommandé aux responsables de la mise en œuvre de consulter la base de données des brevets du TSB.

© UIT 2002

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, par quelque procédé que ce soit, sans l'accord écrit préalable de l'UIT.

## TABLE DES MATIÈRES

	<b>Page</b>
1	Domaine d'application ..... 1
2	Références..... 1
2.1	Références normatives..... 1
2.2	Références non normatives..... 2
3	Définitions ..... 2
4	Abréviations..... 2
5	Introduction ..... 3
6	Paramètres de qualité d'écoulement du trafic ..... 4
7	Considérations relatives à l'ingénierie du trafic..... 4
7.1	Facteurs ayant une incidence sur la capacité d'un canal amont..... 5
7.1.1	Caractéristiques du canal ..... 5
7.1.2	Protocole utilisé ..... 5
7.1.3	Temps de propagation ..... 5
7.2	Protocole pour la transmission amont ..... 6
8	Dimensionnement d'un canal amont unique..... 6
8.1	Capacité pour la téléphonie ..... 6
8.2	Capacité disponible pour la transmission de données ..... 7
9	Interopérabilité des protocoles DOCSIS 1.0 et DOCSIS 1.1 ..... 8
10	Groupage des canaux amont..... 8
10.1	Changement immédiat de canal amont..... 9
10.2	Gigue dans les intervalles vocaux ..... 9
10.3	Algorithmes d'attribution..... 9
11	Historique ..... 11
	Appendice I – Exemple de calcul de la capacité d'un canal amont ..... 11
	Appendice II – Exemple de fenêtres de gigue ..... 12



## Recommandation UIT-T E.681

### Méthodes d'ingénierie du trafic pour les réseaux d'accès IP utilisant un système hybride de câbles coaxiaux et à fibres optiques

#### 1 Domaine d'application

La présente Recommandation décrit les méthodes préférées génériques de gestion du trafic et de dimensionnement applicables aux réseaux d'accès IP utilisant un système hybride de câbles coaxiaux et à fibres optiques (HFC), compte tenu des avantages et des inconvénients de la technologie d'accès par câblo-modem. Elle énonce les principes relatifs au trafic à appliquer pour la planification, l'exploitation et la gestion des réseaux d'accès IP/HFC afin d'atteindre les objectifs des clients en termes de qualité de service (QS).

Du point de vue de l'ingénierie du trafic, on part du principe, dans la présente Recommandation que le réseau est disponible, autrement dit qu'aucun équipement de réseau n'est défaillant.

La première édition de la présente Recommandation traite uniquement de la fourniture du service de téléphonie IP par système HFC dans un contexte d'intégration téléphonie/données. Si elle examine les effets du service téléphonique sur la capacité disponible pour les données, elle n'aborde pas les méthodes d'ingénierie du trafic pour les services de données utilisant le protocole TCP/IP tels que la navigation sur le web, le courrier électronique, le transfert de fichiers et l'accès aux données à grand débit, qui feront l'objet d'une étude ultérieure. D'autres services, tels que la visiophonie et la vidéo à la demande, feront également l'objet d'une étude ultérieure.

#### 2 Références

##### 2.1 Références normatives

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

- Recommandation UIT-T E.526 (1993), *Dimensionnement d'un faisceau de circuits avec services supports à intervalles de temps multiples et sans trafic de débordement.*
- Recommandation UIT-T E.651 (2000), *Connexions de référence pour l'ingénierie du trafic sur les réseaux d'accès IP.*
- Recommandation UIT-T E.721 (1999), *Paramètres et valeurs cibles de qualité d'écoulement de trafic dans le réseau pour les services à commutation de circuits dans le RNIS en développement.*
- Recommandation UIT-T E.726 (2000), *Paramètres et valeurs cibles de qualité d'écoulement du trafic pour le RNIS-LB.*
- Recommandation UIT-T G.114 (2000), *Temps de transmission dans un sens.*
- Recommandation UIT-T G.711 (1988), *Modulation par impulsions et codage (MIC) des fréquences vocales.*
- Recommandation UIT-T G.728 (1992), *Codage de la parole à 16 kbit/s en utilisant la prédiction linéaire à faible délai avec excitation par code.*

- Recommandation UIT-T J.112 (1998), *Systèmes de transmission pour services interactifs de télévision par câble*.

## 2.2 Références non normatives

Les références suivantes sont mentionnées à titre d'information:

- DOCSIS 1 Data-Over-Cable Service Interface Specifications, Radio Frequency Interface Specification 1.0, SP-RFI-I05-991105, Cable Television Laboratories, Inc., novembre 1999.
- DOCSIS 2 Data-Over-Cable Service Interface Specifications, Radio Frequency Interface Specification 1.1, SP-RFIV1.1-I07-010829, Cable Television Laboratories, Inc., août 2001.
- DOCSIS 3 Data-Over-Cable Service Interface Specifications, Cable Modem to Customer Premises Equipment Interface Specification, SP-CMCI-I05-001215, Cable Television Laboratories, Inc., décembre 2000.

## 3 Définitions

La présente Recommandation définit les termes suivants:

**3.1 câblo-modem (CM, *cable modem*):** modulateur-démodulateur installé dans les locaux de l'abonné, servant à l'acheminement de communications de données sur un système de télévision par câble.

**3.2 système de terminaison de câblo-modem (CMTS, *cable modem termination system*):** système situé en tête de réseau ou sur le pivot de distribution du système de télévision par câble, qui fournit des fonctionnalités complémentaires aux câblo-modems afin de permettre la connexité de données sur un réseau étendu.

**3.3 nœud optique:** point d'interface entre une artère optique et le système de distribution par câble coaxial.

**3.4 système hybride optique/coaxial (HFC, *hybrid fiber/coax system*):** système de transmission bidirectionnel à large bande utilisant des artères optiques entre la tête de réseau et les nœuds optiques et un système de distribution par câble coaxial entre les nœuds optiques et les locaux d'abonné.

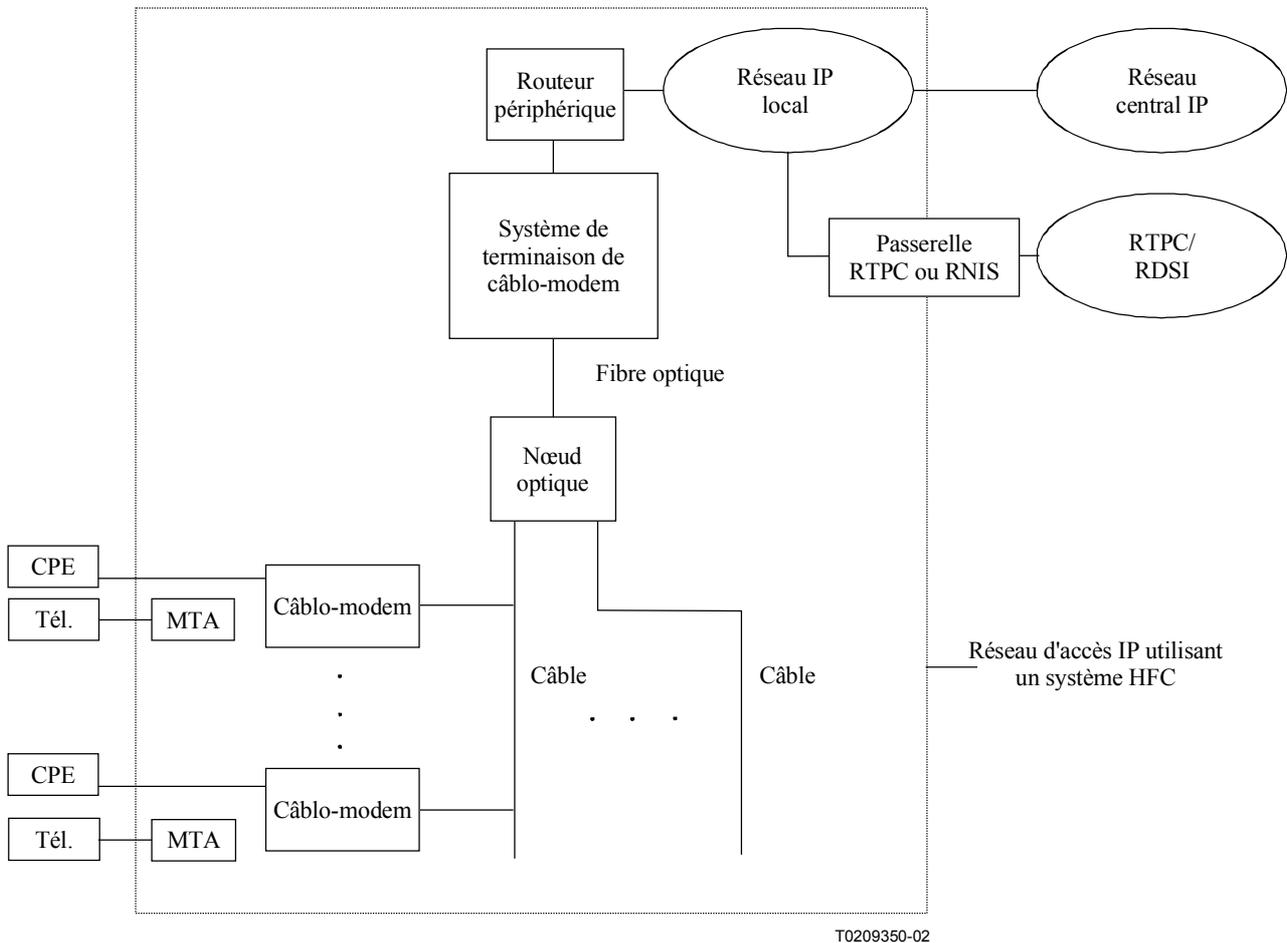
## 4 Abréviations

La présente Recommandation utilise les abréviations suivantes:

- CM câblo-modem
- CMTS système de terminaison de câblo-modem (*cable modem termination system*)
- CPE équipement des locaux client (*customer premises equipment*)
- GOS qualité d'écoulement du trafic (*grade of service*)
- HFC système hybride optique/coaxial (*hybrid fiber/coax system*)
- IP protocole Internet (*Internet protocol*)
- MTA adaptateur de terminal multimédia (*multi-media terminal adapter*)
- QS qualité de service
- TCP protocole de commande de transmission (*transmission control protocol*)

## 5 Introduction

La présente Recommandation utilise l'architecture de référence des réseaux d'accès IP utilisant des systèmes hybrides optique/coaxial spécifiée au 7.1/E.651. Par souci de commodité, la Figure 7-1/E.651 est reproduite ci-dessous en tant que Figure 5-1.



**Figure 5-1/E.681 – Architecture de référence d'un réseau d'accès IP utilisant un système HFC**

Cette figure présente un réseau d'accès IP utilisant un système HFC, les câblo-modems des clients étant connectés à un système de terminaison de câblo-modem (CMTS, *cable modem termination system*) situé en tête de réseau. Le système de distribution HFC comprend des liaisons à fibre optique entre le système CMTS et un nœud optique, ce dernier effectuant la conversion optique/électrique. Un câble coaxial est utilisé pour connecter plusieurs installations de client proches les unes des autres au nœud optique. Un équipement de client tel qu'un ordinateur personnel peut être connecté directement à un câblo-modem. Un téléphone normal est généralement connecté à un câblo-modem par le biais d'un adaptateur de terminal multimédia (MTA, *multi-media terminal adapter*). L'adaptateur MTA peut être intégré au câblo-modem. Le réseau d'accès IP/HFC est connecté à un réseau central IP au moyen d'un réseau IP local géré et d'un routeur périphérique, pour l'accès à l'Internet et pour tous les appels téléphoniques IP de bout en bout. Une connexion est également prévue via une passerelle pour l'interfonctionnement avec le RTPC/RNIS concernant les appels téléphoniques. Le routeur périphérique, qui peut être intégré au système CMTS, achemine le trafic sur le réseau IP local. Il peut également se charger de la police du trafic et, facultativement, de fonctions de commande d'admission. Le réseau IP local contient tous les éléments de réseau/serveurs nécessaires pour la gestion des connexions et le traitement des appels.

Un système CMTS et un câblo-modem transfèrent le trafic IP conformément à la spécification appelée DOCSIS 1.1 (*data-over-cable service interface specifications, radio frequency interface specification*, Version 1.1 [DOCSIS 2]). Une version antérieure de cette spécification, DOCSIS 1.0 [DOCSIS 1], avait été initialement mise au point pour la prise en charge du service de données à haut débit assuré au mieux. Les questions d'ingénierie du trafic liées à l'interopérabilité des protocoles associés à ces deux versions sont traitées au § 9.

## 6 Paramètres de qualité d'écoulement du trafic

Dans le présent paragraphe sont énumérés les paramètres de qualité d'écoulement du trafic (GOS, *grade of service*) qui présentent un intérêt en ce qui concerne l'ingénierie du trafic. Leur définition et leur valeur cible feront l'objet d'une future Recommandation.

Pour la téléphonie IP, on recommande les paramètres GOS de trafic suivants au niveau de l'appel:

- 1) probabilité de blocage de l'appel;
- 2) délai de postsélection;
- 3) délai du signal de réponse;
- 4) délai de libération de l'appel.

NOTE 1 – Ces paramètres sont fonctionnellement analogues aux paramètres correspondants spécifiés dans les Recs. UIT-T E.721 et E.726.

NOTE 2 – Dans le présent contexte, le délai du signal de réponse est fonctionnellement équivalent au délai postprise d'appel. Autrement dit, il s'agit de l'intervalle compris entre l'instant où le téléphone de destination est décroché (après la sonnerie) et l'instant où le trajet vocal de bout en bout est établi avec le téléphone d'origine. Cet intervalle est spécifié pour éviter le "allô tronqué".

Dans la phase de transfert d'informations, qui suit la phase d'établissement de l'appel, on désigne par le terme *paquet*, un paquet contenant un ou plusieurs échantillons vocaux. Dans cette phase, les paramètres GoS de trafic suivants sont recommandés:

- 1) temps de transmission de la parole (y compris le temps de mise en paquets et le temps de transmission de paquets dans un seul sens);
- 2) variation du temps de transmission des paquets, également appelée gigue;
- 3) perte de paquets (moyenne et par rafale).

NOTE 3 – Ces paramètres sont fonctionnellement analogues aux paramètres GoS au niveau des cellules correspondantes spécifiés dans la Rec. UIT-T E.726.

## 7 Considérations relatives à l'ingénierie du trafic

Dans un système HFC, l'interactivité dans les deux sens est obtenue par l'ajout, dans le réseau de diffusion de télévision par câble, d'un trajet de retour pour le sens amont (c'est-à-dire un trajet allant du client au réseau). Toutefois, étant donné la largeur de bande relativement faible attribuée à ce trajet (par souci de compatibilité avec la diffusion de télévision) et ses caractéristiques de bruit, les largeurs de bande disponibles dans les deux sens sont asymétriques, la largeur de bande étant nettement moins importante dans le sens amont que dans le sens aval. Étant donné cette asymétrie, un système CMTS associe généralement un canal aval à plusieurs canaux amont (généralement jusqu'à huit). Toutefois, un câblo-modem ne peut accéder qu'à un de ces canaux amont à la fois pour tous ses besoins de communication, c'est-à-dire pour prendre en charge plusieurs appels vocaux simultanés (généralement jusqu'à quatre) et/ou une connexion de données à haut débit permanente.

En ce qui concerne la transmission de données à haut débit, les téléchargements et transferts de fichier à haut débit surviennent généralement dans le sens aval, le sens amont étant essentiellement utilisé pour la transmission de petits paquets contenant des accusés de réception et des commandes émanant des utilisateurs. Contrairement aux applications de transmission de données, les

communications vocales interactives nécessitent, par nature, des largeurs de bande symétriques dans les deux sens de transmission. Dès lors, les canaux amont à faible largeur de bande peuvent constituer un frein pour la prise en charge de services de téléphonie et de transmission de données intégrés.

## **7.1 Facteurs ayant une incidence sur la capacité d'un canal amont**

La capacité d'un canal amont dépend des caractéristiques physiques et du protocole utilisé pour la communication. Le temps de propagation aller-retour maximal entre un câble-modem et un système CMTS a aussi une incidence sur la capacité maximale utilisable pour la téléphonie. L'Appendice I contient un exemple montrant l'incidence que les facteurs ci-après ont sur la capacité d'un canal amont disponible pour les connexions vocales.

### **7.1.1 Caractéristiques du canal**

Conformément à la spécification DOCSIS 1.1, les opérateurs ont une certaine latitude dans le choix des caractéristiques de couche Physique amont. Ils ont en effet le choix entre deux formats de modulation (QPSK et QAM-16) et entre cinq rapidités de modulation et disposent d'un ensemble correspondant de largeurs de canal. Le débit brut d'un canal amont dépend principalement de la largeur de bande du canal, du format de modulation et de la rapidité de modulation choisis pour ce canal.

### **7.1.2 Protocole utilisé**

Le nombre de connexions vocales pouvant être prises en charge sur un canal dépend du type d'algorithme de codage du codec, de l'intervalle de mise en paquets des signaux vocaux, du recours à la suppression de l'en-tête de charge utile, de la taille du mot code utilisé pour la correction d'erreur directe et de la taille d'un mini-intervalle.

La spécification DOCSIS définit un mini-intervalle comme étant une unité de temps utilisée pour l'attribution de la largeur de bande dans le sens amont. Le canal amont est donc modélisé sous la forme d'un flux de mini-intervalles contigus, chacun de ceux-ci représentant le temps nécessaire pour la transmission d'un nombre fixe d'octets. On utilise généralement une taille de mini-intervalle de 8 ou de 16 octets.

### **7.1.3 Temps de propagation**

Conformément à la spécification DOCSIS, la largeur de bande du canal amont est réservée, une fois toutes les 10 s, à l'entrée de nouveaux câble-modems dans le réseau et à leur alignement initial. Cet alignement consiste, pour un câble-modem, à acquérir le décalage temporel correct pour que ses transmissions soient alignées sur la frontière de mini-intervalle correcte. La largeur de bande pour cette fonction d'alignement, appelée *mise à jour initiale*, nécessite "un intervalle long, équivalent au temps de propagation aller-retour maximal plus le temps de transmission du message de demande d'alignement (RNG-REQ, *ranging request*)". Les paquets de signaux vocaux ne peuvent pas être transmis pendant cet intervalle. Pour éviter toute incidence sur la variation du temps de transmission des paquets, il convient de ne pas utiliser la totalité de la largeur de bande du canal amont pour la téléphonie. Dès lors, plus cet intervalle est long, plus la capacité amont pour la téléphonie est faible.

D'après la spécification DOCSIS, la distance doit être au maximum de 100 miles (160 km) entre un système CMTS et le câble-modem le plus éloigné, la distance habituelle étant de 15 à 25 km. Le temps de propagation varie en fonction du rapport de longueur des supports (fibre/métallique). Si l'on suppose que la vitesse de transmission est égale à 2/3 de la vitesse de la lumière dans le vide (voir Rec. UIT-T G.114), le temps de propagation aller-retour maximal est de 1,61 ms.

Dans la pratique, les installations en câbles fonctionnent généralement avec des distances plus courtes que le maximum indiqué dans la spécification DOCSIS. Pour obtenir une plus forte capacité pour les connexions vocales, il peut être souhaitable que ces installations utilisent une valeur de temps de propagation maximal plus faible que la valeur susmentionnée pour pouvoir mettre en œuvre l'intervalle de mise à jour initiale.

## 7.2 Protocole pour la transmission amont

L'accès d'un câblo-modem aux mini-intervalles pour une transmission amont est géré par le système CMTS. Un câblo-modem ne peut envoyer un paquet qu'après avoir demandé et obtenu auprès du CMTS une *concession*, c'est-à-dire la permission d'utiliser un certain nombre de mini-intervalles contigus. Le système CMTS est chargé de répondre à ces demandes et d'organiser les transmissions de charge utile amont par des concessions successives à divers câblo-modems. En ce qui concerne la transmission de données, chaque fois qu'un câblo-modem est prêt à envoyer un paquet, il demande une concession au système CMTS.

Conformément à la spécification DOCSIS 1.1, afin de minimiser les préfixes dans le cas des communications vocales à débit constant (CBR, *constant bit rate*), un système CMTS fournit automatiquement des *concessions non sollicitées* à un câblo-modem pour la transmission amont périodique de paquets de signaux vocaux associés à chaque connexion CBR qui a été établie pour le câblo-modem. Pour des raisons de simplicité, on désigne par le terme *intervalle vocal* un flux constant de concessions non sollicitées périodiques relatives à une séquence de mini-intervalles contigus successifs pour la transmission des paquets de signaux vocaux de taille fixe générés par une connexion CBR. Ainsi, un intervalle vocal est attribué à un câblo-modem pour chaque connexion CBR qu'il a établie.

## 8 Dimensionnement d'un canal amont unique

La largeur de bande d'un canal amont est utilisée en partage par la charge utile associée à la téléphonie IP et celle associée à la transmission de données à haut débit, les préfixes liés à la signalisation téléphonique et aux activités de mise à jour DOCSIS ainsi que le trafic résultant de demandes de transmission amont simultanées.

Dans le présent paragraphe, on part du principe que chaque câblo-modem est configuré *statiquement* pour utiliser un canal amont particulier au moment de la mise à disposition (c'est-à-dire à l'installation ou à la mise en marche). Pour cette raison, chaque canal amont est mis en œuvre séparément.

### 8.1 Capacité pour la téléphonie

Pour établir une estimation prudente de la capacité d'un canal amont donné, disponible pour les connexions vocales, on peut utiliser la formule B d'Erlang:

$$\Pi = \left( a^n / n! \right) / \sum_{k=0}^n \left( a^k / k! \right)$$

où  $\Pi$  est la probabilité de blocage des appels,  $a$  est la charge offerte et  $n$  est le nombre maximal de connexions vocales pouvant être prises en charge par le canal amont. Ce nombre  $n$  peut être déterminé au moyen d'une méthode analogue à celle de l'Appendice I.

Pour tenir compte de l'effet dû au nombre limité de sources, on peut utiliser la formule d'Engset pour la probabilité de blocage des appels:

$$\Pi = \left[ \binom{m-1}{n} a^n \right] / \left[ \sum_{k=0}^n \binom{m-1}{k} a^k \right]$$

où  $m$  est le nombre de sources de trafic et  $\hat{a}$  est la charge moyenne offerte par source au repos. Soit  $\alpha = a/m$  la charge moyenne offerte par source. La relation  $\hat{a} = \alpha/[1 - \alpha(1 - \Pi)] \approx \alpha/(1 - \alpha)$  peut être utilisée pour estimer la quantité  $\hat{a}$  lorsque  $\Pi \ll 1$ .

Lorsque le système prend en charge plusieurs systèmes de codage (c'est-à-dire à la fois les Recs. UIT-T G.711 et G.728), des appels vocaux différents peuvent nécessiter des débits différents. Dans ce cas, on peut utiliser, pour le dimensionnement, les méthodes de la Rec. UIT-T E.526.

## 8.2 Capacité disponible pour la transmission de données

La capacité amont disponible pour le trafic de données dépend dans une large mesure du degré de partage de la largeur de bande entre la téléphonie et la transmission de données. Dans le cas du système sans partage, c'est-à-dire pour lequel la téléphonie et la transmission de données utilisent des largeurs de bande distinctes, le trafic de données ne peut utiliser que la largeur de bande qui lui est attribuée. Tout système avec partage permettra d'obtenir une largeur de bande moyenne pour les données plus importante que le système sans partage [CS01, L01].

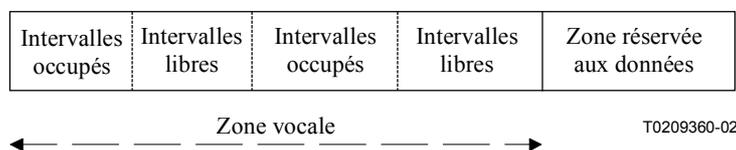
Pour faciliter le partage entre la téléphonie et la transmission de données, on part du principe, dans le cadre de l'ingénierie du trafic, que la séquence de mini-intervalles d'un canal amont est découpée en *trames*, la longueur de chacune correspondant au temps de mise en paquets associé à l'échantillonnage vocal. Pour la plupart des applications de téléphonie par paquets sur les systèmes d'accès par câble, ce temps est généralement de 10 ms afin de réduire autant que possible les temps de transmission de la parole. A l'intérieur de chaque trame, l'ensemble de mini-intervalles est ensuite scindé en deux zones *fixes*. L'une est attribuée à la seule transmission de données et prend en charge des paquets de données de taille variable. Elle est appelée la *zone réservée aux données*. L'autre, appelée la *zone vocale*, est utilisée tant pour la téléphonie que pour la transmission de données, la téléphonie étant prioritaire. Les paquets de signaux vocaux ont une taille fixe.

Pour évaluer la quantité *maximale* de capacité libre dans la zone vocale pouvant être utilisée pour la transmission de données, on notera que la probabilité d'avoir  $j$  intervalles vocaux occupés  $P_j$  est:

$$P_j = \left[ \binom{m}{j} \hat{a}^j \right] / \left[ \sum_{k=0}^n \binom{m}{k} \hat{a}^k \right] \quad (j = 0, 1, \dots, n)$$

La probabilité de disposer d'au moins  $i$  intervalles vocaux libres dans la zone vocale est  $\sum_{j=0}^{n-i} P_j$ .

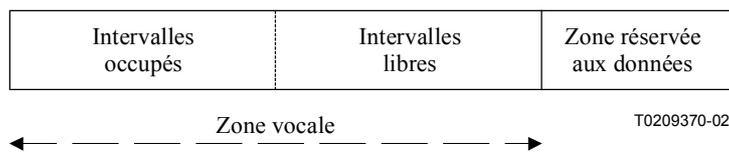
Cette capacité libre est disponible pour la transmission de données en plus de la largeur de bande correspondant à la zone réservée aux données.



**Figure 8-1/E.681 – Une zone vocale avec deux sections d'intervalles libres contigus (c'est-à-dire deux "trous")**

A mesure que des connexions vocales sont établies et libérées, des "trous" (sections d'intervalles vocaux libres contigus) finissent par se créer dans la largeur de bande du canal comme le montre la Figure 8-1. Pour exploiter pleinement cette capacité libre dans la zone vocale, la spécification DOCSIS 1.1 définit une procédure de fragmentation des paquets de données selon laquelle les paquets de données sont fragmentés pour combler ces trous. L'emploi de cette procédure entraîne une pénalisation sous la forme d'un préfixe de 16 octets par fragment qui est nécessaire pour acheminer les informations de fragmentation et de réassemblage. Pour comparaison, on notera que

la taille d'un intervalle vocal dans le cas du codage G.711 est de 135 octets environ (voir l'Appendice I).



**Figure 8-2/E.681 – Une zone vocale avec une seule section d'intervalles libres contigus**

On peut diminuer la nécessité de fragmenter les paquets de données en écartant de la zone réservée aux données certains des intervalles vocaux occupés, comme indiqué à la Figure 8-2. On améliore l'efficacité en créant la séquence la plus longue possible d'intervalles vocaux libres contigus pour la transmission de données. Toutefois, ce déplacement de quelques intervalles vocaux attribués à des connexions vocales produira une augmentation de la variation du temps de transmission des paquets. Pour diminuer autant que possible le temps de transmission de la parole, on attribue généralement au système CMTS un budget de 2 à 3 ms environ pour la variation du temps de transmission des paquets. Aussi est-il souhaitable d'éviter autant que possible le déplacement d'intervalles vocaux assignés.

En pratique, le déplacement d'intervalles vocaux occupés pour remplir des trous n'est pas toujours nécessaire, car ces trous peuvent être utilisés pour la transmission de petits paquets de commande, par exemple pour la mise à jour et les demandes de transmission simultanées. Pour évaluer la capacité disponible pour les données, lorsque les intervalles vocaux assignés sont laissés en place sans remplir de trous, on peut utiliser le modèle présenté dans le document [L01].

## 9 Interopérabilité des protocoles DOCSIS 1.0 et DOCSIS 1.1

Le protocole DOCSIS 1.0 a été initialement mis au point pour la prise en charge du service de données à haut débit assuré au mieux sur un système d'accès par câble. Le protocole de la génération suivante, DOCSIS 1.1, constitue une amélioration du protocole DOCSIS 1.0, des fonctionnalités lui étant ajoutées afin de répondre aux prescriptions de qualité de fonctionnement liées au trafic sensible au temps de transmission ou à la gigue, la téléphonie IP par exemple. Les fonctionnalités en question comprennent le service de concession non sollicitée (§ 7.2), la fragmentation des paquets de données (§ 8.2) et la suppression de l'en-tête de charge utile.

Pour des raisons d'interopérabilité, un système CMTS DOCSIS 1.1 doit être compatible vers l'arrière avec les câblo-modems DOCSIS 1.0. Comme ceux-ci n'acceptent généralement pas la fragmentation des paquets, un système CMTS DOCSIS 1.1 ne doit pas tenter de fragmenter les transmissions de paquets provenant d'un câblo-modem DOCSIS 1.0. Cela peut avoir un certain effet sur la qualité de service concernant les besoins de communication en temps réel des câblo-modems DOCSIS 1.1 lorsque des câblo-modems DOCSIS 1.0 et 1.1 sont appelés à utiliser en partage le même canal amont. Pour atténuer cet effet, on peut utiliser l'algorithme d'attribution d'intervalle vocal "*packed upward*", décrit dans le document [L01]. De même, si un certain nombre de câblo-modems DOCSIS 1.0 doivent être pris en charge sur un canal amont, il y a une limite supérieure au nombre de sources vocales pouvant être prises en charge sur le même canal, ou vice versa, comme indiqué dans le document [L01].

## 10 Groupage des canaux amont

Etant donné que la largeur de bande d'un canal amont est limitée, le nombre de câblo-modems pouvant statiquement être pris en charge par un canal donné est faible. Pour augmenter le nombre total de câblo-modems pouvant être pris en charge par un système CMTS, c'est-à-dire pour

augmenter l'utilisation des canaux amont, il faut grouper ces canaux pour qu'ils puissent être utilisés par n'importe quel câblo-modem. Ainsi, le système CMTS doit non seulement pouvoir configurer initialement un câblo-modem pour utiliser un canal donné mais aussi pouvoir attribuer dynamiquement des câblo-modems à différents canaux en fonction des conditions de trafic du moment.

### 10.1 Changement immédiat de canal amont

En vertu du protocole DOCSIS 1.1, lorsqu'un système CMTS décide de remplacer le canal amont alors attribué à un câblo-modem par un autre, il envoie au câblo-modem un message de demande de changement de canal amont (UCC-REQ, *upstream channel change request*). En réponse, le câblo-modem transmet un message de réponse de changement de canal amont (UCC-RSP, *upstream channel change response*) sur le canal alors attribué pour signaler qu'il est prêt à utiliser le nouveau canal. Après le passage sur le nouveau canal, le câblo-modem effectue généralement des opérations de mise à jour pour procéder à tout ajustement nécessaire de synchronisation, de puissance et de fréquence utilisée. Ce processus est appelé le *réalignement*.

Toutefois, pour réduire autant que possible les interruptions dans les appels en cours sur le canal alors attribué (par exemple pour éviter toute perte de paquet), le câblo-modem doit pouvoir utiliser le nouveau canal directement sans effectuer ce réalignement, qui est long. Une telle procédure abrégée est désignée par le terme de changement immédiat de canal amont (IUCC, *immediate upstream channel change*). A cet effet, le câblo-modem doit connaître les caractéristiques de fonctionnement du nouveau canal. A des intervalles réguliers (de maximum 2 s), le système CMTS transmet à tous les câblo-modems des informations au sujet de chaque canal amont actif au moyen d'un message de description de canal amont (UCD, *upstream channel descriptor*). Chaque câblo-modem doit régulièrement mémoriser les informations des messages UCD pour éviter le réalignement en cas de changement de canal. Si un câblo-modem ne peut conserver ces informations (par manque de mémoire, par exemple), il est recommandé que le système CMTS envoie un message uniquement à ce câblo-modem immédiatement après le message UCC-REQ. Ainsi le câblo-modem connaît immédiatement les caractéristiques de fonctionnement du nouveau canal.

### 10.2 Gigue dans les intervalles vocaux

La gigue, également appelée variation du temps de transmission des paquets, est l'écart, mesuré en unités de temps, par rapport à l'instant idéal ou prévu de réception de chaque paquet. La gigue dans les intervalles vocaux devient un problème et doit être maintenue sous contrôle lorsque se produit un changement IUCC. En effet, lorsque celui-ci est fait pour un câblo-modem, les positions relatives des intervalles vocaux attribués au câblo-modem pour les connexions existantes doivent être maintenues dans une plage de gigue maximale tolérée entre l'ancien canal amont et le nouveau. Pour respecter cette contrainte de gigue, on utilise la notion de *fenêtre de gigue* pour définir un ensemble d'intervalles vocaux contigus dans la zone vocale présentant une gigue acceptable. Pour maintenir cette gigue à un bas niveau, il faut limiter la taille de la fenêtre de gigue. L'Appendice II contient un exemple et de plus amples détails sur l'utilisation des fenêtres de gigue.

### 10.3 Algorithmes d'attribution

Le système CMTS attribue des canaux amont et des intervalles vocaux libres aux câblo-modems, pour chaque appel, en réponse à leurs demandes d'établissement d'appel. Il attribue un canal à un câblo-modem en deux occasions. Soit:

- 1) lors de la première demande d'appel émanant du câblo-modem;
- 2) lors d'une demande subséquente lorsque tous les intervalles vocaux de la zone vocale du canal alors attribué au câblo-modem sont occupés, ce qui nécessite un changement IUCC.

Dans les deux cas, un canal n'est *attribuable* que s'il peut répondre à la demande, c'est-à-dire s'il y a suffisamment d'intervalles vocaux libres pour tous les appels établis et pour le nouvel appel, le tout en respectant la contrainte de gigue. Lorsqu'un changement IUCC est nécessaire, les deux conditions suivantes doivent être satisfaites: premièrement, le nombre d'intervalles vocaux libres dans chaque fenêtre de gigue du nouveau canal ne doit pas être inférieur au nombre d'intervalles vocaux attribués au câblo-modem dans la fenêtre de gigue correspondante du canal alors attribué; deuxièmement, au moins une des fenêtres de gigue du nouveau canal dispose de suffisamment de place pour le nouvel appel en plus des appels existants.

Lorsqu'il choisit un canal afin de l'attribuer, le système CMTS recherche d'abord, parmi tous les canaux qui sont sous son contrôle, ceux qui répondent aux critères d'attribution ci-dessus. Supposons que le système CMTS dispose de  $c$  canaux amont. Généralement,  $c$  n'est pas supérieur à huit. Supposons que les canaux sont numérotés consécutivement de 1 à  $c$ . Le système CMTS peut effectuer la recherche de deux façons:

- 1) une *recherche en sens opposés*, c'est-à-dire vers le haut à partir du canal 1 pour le premier appel émanant d'un câblo-modem, vers le bas à partir du canal  $c$  pour un appel subséquent nécessitant un changement IUCC, ou inversement;
- 2) une *recherche dans le même sens*, c'est-à-dire vers le haut à partir du canal 1 (ou vers le bas à partir du canal  $c$ ) tant pour le premier appel émanant du câblo-modem que pour un appel subséquent nécessitant un changement IUCC.

L'exécution de l'une de ces procédures de recherche permet au système CMTS de marquer, parmi les  $c$  canaux, ceux qui répondent aux critères d'attribution. Si le sous-ensemble des canaux marqués est vide, le nouvel appel est bloqué.

Supposons que la recherche a abouti, le système CMTS choisit alors un canal parmi les canaux marqués comme pouvant être attribués au câblo-modem pour un nouvel appel. L'une des procédures suivantes peut être utilisée:

- 1) "*packed with first fit*": cette procédure attribue le premier canal dans le sens de recherche spécifié. Par exemple, si on utilise la procédure de recherche vers le haut, c'est le canal ayant le plus petit numéro qui répond aux critères d'attribution qui est choisi;
- 2) "*minimally packet*": cette procédure attribue le premier canal dans le sens de recherche spécifié parmi les canaux comportant le nombre minimal d'intervalles vocaux libres. Supposons par exemple qu'il y a plusieurs canaux qui répondent aux critères d'attribution et qui ont le même nombre minimal d'intervalles vocaux libres. Si c'est la procédure de recherche vers le haut qui est utilisée, c'est le canal ayant le plus petit numéro parmi ces canaux qui est choisi;
- 3) "*maximally spread*": cette procédure attribue le premier canal dans le sens de recherche spécifié parmi les canaux comportant le nombre maximal d'intervalles vocaux libres;
- 4) "*random*": cette procédure attribue un canal aléatoirement.

On peut combiner ces quatre procédures de différentes manières. On peut par exemple employer la procédure "*packet with first fit*" pour choisir un canal pour le premier appel émanant d'un câblo-modem et la procédure "*maximally spread*" pour les appels subséquents émanant du même câblo-modem et nécessitant un changement IUCC.

Après avoir choisi le canal à attribuer, le système CMTS procède comme suit: si un changement IUCC est nécessaire, toutes les connexions vocales existantes établies sur le canal alors attribué au câblo-modem sont d'abord déplacées sur le nouveau canal. Lors de ce déplacement, la relation entre les fenêtres de gigue de l'ancien canal et du nouveau canal est préservée. Ainsi, les connexions vocales existantes attribuées à une fenêtre de gigue dans le canal alors attribué sont maintenues dans la même fenêtre de gigue dans le canal nouvellement choisi. Lorsque toutes les connexions existantes ont ainsi été déplacées, un intervalle vocal libre dans le nouveau canal est choisi et

attribué au nouvel appel. Bien entendu, dans le cas d'un premier appel émanant du câblo-modem, aucun changement IUCC n'est requis et le système CMTS choisit simplement un intervalle vocal libre dans le canal et l'attribue au câblo-modem pour cet appel. Si l'on suppose que les intervalles vocaux de la zone vocale d'un canal sont numérotés consécutivement et identifiés par leur numéro, on peut utiliser une des procédures ci-après pour choisir un intervalle vocal libre:

- 1) "*packed*": cette procédure choisit l'intervalle vocal libre ayant le plus petit numéro (ou le plus grand numéro).
- 2) "*random*": cette procédure choisit d'abord au hasard une fenêtre de gigue comportant au moins un intervalle vocal libre et ensuite l'intervalle vocal libre ayant le plus petit numéro (ou le plus grand numéro) dans la fenêtre de gigue choisie.

Pour une tolérance de gigue maximale donnée, les différents algorithmes donnent lieu à des probabilités de blocage différentes [L00]. Les algorithmes "*maximally spread*" et "*random*" donneraient les résultats les plus favorables en termes de performance.

## 11 Historique

Ceci est la première édition de la Rec. UIT-T E.681.

### Bibliographie

- [CS01] CHOUDHURY (G.L.), SEGAL (M.): Cable Infrastructure to Carry Voice and Data – Performance Analysis, Traffic Engineering and Cable Head-end Node Design Design, *Proc. 14th ITC Specialists Seminar on Access Networks and Systems*, Girona, Espagne, 25-27 avril 2001.
- [L00] LAI (W.S.): Upstream Bandwidth Allocation for Packet Telephony in Hybrid Fiber-Coax Systems, *Proc. 2000 Symposium on Performance Evaluation of Computer and Telecommunication Systems (SPECTS'2000)*, Vancouver, Canada, 16-20 juillet 2000, pp. 96-100. (Sponsored by the Society for Computer Simulation International.)
- [L01] LAI (W.S.): DOCSIS-Based Cable Networks: Impact of Large Data Packets on Upstream Capacity, *Proc. 14th ITC Specialists Seminar on Access Networks and Systems*, Girona, Espagne, 25-27 avril 2001, pp. 57-67.

## Appendice I

### Exemple de calcul de la capacité d'un canal amont

Développons l'exemple suivant:

- 1) *caractéristiques du canal*: canal amont de 3,2 MHz fonctionnant en modulation QPSK avec une rapidité de modulation de 2560 ksymb/s, soit un canal à 5,12 Mbit/s. Il s'agit du débit brut pour les transmissions amont;
- 2) *protocole utilisé*: codage G.711 avec un intervalle de mise en paquets de 10 ms et avec suppression de l'en-tête de charge utile.

Dans ce cas, un paquet vocal a une charge utile vocale de 80 octets. Si on ajoute les préfixes correspondant aux diverses couches de protocole et si on utilise la fonctionnalité de suppression de l'en-tête de charge utile du protocole DOCSIS 1.1, un paquet vocal peut atteindre 135 octets de long. Pour des mini-intervalles de 8 octets, un intervalle vocal nécessitera 17 mini-intervalles à un débit de 108,8 kbit/s. Un canal à 5,12 Mbit/s permet

donc d'établir un maximum de 47 connexions lorsque toute la largeur de bande du canal est utilisée pour les transmissions vocales seulement. Des calculs analogues montrent que 44 connexions sont possibles avec des mini-intervalles de 16 octets à 115,2 kbit/s (l'emploi de méthodes de codage à débit inférieur, notamment celle de la Rec. UIT-T G.728, permet d'obtenir un nombre de connexions plus élevé).

- 3) *temps de propagation*: le temps de transmission du message de demande d'alignement DOCSIS (RNG-REQ) à 5,12 Mbit/s est de 0,1 ms. Ajouté au temps de propagation aller-retour maximal de 1,61 ms, on obtient un total maximal de 1,71 ms.

Pour un intervalle de mise en paquets de 10 ms, cela signifie qu'il faut 17,1% de la largeur de bande du canal amont à cet effet. Dans un environnement purement vocal, la capacité vocale maximale admissible par canal est dès lors de  $(100\% - 17,1\%) 5,12 \text{ Mbit/s} = 4,24 \text{ Mbit/s}$ . En cas de codage G.711 avec suppression de l'en-tête de charge utile, cela se traduit par un maximum de 38 connexions pour des mini-intervalles de huit octets à 108,8 kbit/s ou de 36 connexions pour des mini-intervalles de 16 octets à 115,2 kbit/s.

- 4) Dans un contexte d'intégration téléphonie/données, la capacité vocale maximale admissible est réduite d'une quantité égale à la largeur de bande qu'il faut réserver aux services de transmission de données. Par exemple, lorsque la téléphonie ne peut utiliser que 60% au plus de la largeur de bande du canal, les maxima correspondant aux deux scénarios ci-dessus seront respectivement de 28 et 26 connexions vocales.

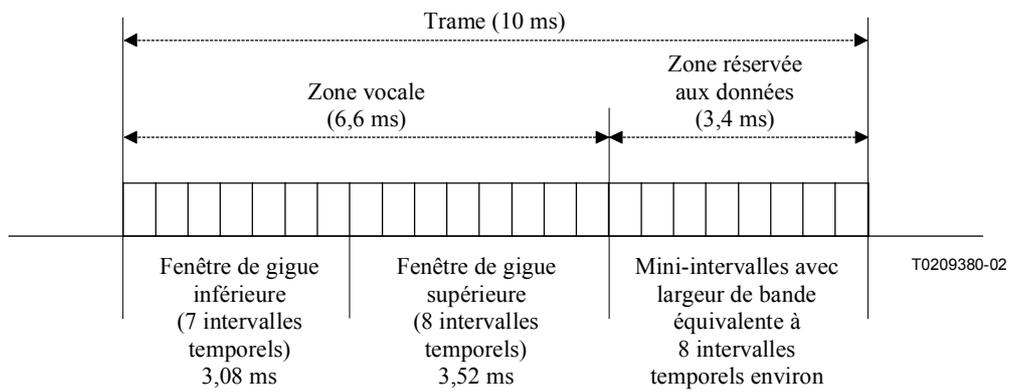
Dans ce cas, la largeur de bande correspondant à la mise à jour initiale est relativement peu importante et elle est prise dans la largeur de bande réservée aux données.

## Appendice II

### Exemple de fenêtres de gigue

La Figure II.1 présente, à titre d'exemple, une trame de 10 ms avec une zone vocale de 6,6 ms suivie d'une zone réservée aux données de 3,4 ms. Elle illustre un scénario typique dans lequel la largeur de bande d'une trame est répartie dans un rapport d'environ 2:1 en ce qui concerne le partage entre la téléphonie et la transmission de données. La zone vocale compte 15 intervalles vocaux, soit un nombre impair. Les tailles des deux fenêtres de gigue non chevauchantes sont approximativement égales, avec sept intervalles vocaux dans la fenêtre inférieure et 8 dans la fenêtre supérieure. La durée de la fenêtre inférieure est de  $6,6 \times (7/15) = 3,08 \text{ ms}$  alors que celle de la fenêtre supérieure est de  $6,6 \times (8/15) = 3,52 \text{ ms}$ .

Si l'on divise la zone vocale en deux fenêtres approximativement égales qui ne se chevauchent pas et si on maintient les appels dans la même fenêtre de gigue dans une procédure IUCC, la gigue est limitée à la durée de la fenêtre. Cette durée est inférieure aussi bien à celle de la zone vocale qu'à celle de la trame. En outre, en faisant en sorte que les fenêtres de gigue ne soient pas chevauchantes et qu'ensemble, elles couvrent toute la zone vocale, la gigue est réduite au minimum et l'accès d'un câblo-modem à la largeur de bande de canal est maximal (et le blocage des appels est donc réduit au minimum). Par ailleurs, tous les câblo-modems utiliseront le même ensemble de fenêtres de gigue, ce qui simplifie la gestion du système.



**Figure II.1/E.681 – Exemple de structure de trame avec deux fenêtres de gigue**





## SÉRIES DES RECOMMANDATIONS UIT-T

Série A	Organisation du travail de l'UIT-T
Série B	Moyens d'expression: définitions, symboles, classification
Série C	Statistiques générales des télécommunications
Série D	Principes généraux de tarification
<b>Série E</b>	<b>Exploitation générale du réseau, service téléphonique, exploitation des services et facteurs humains</b>
Série F	Services de télécommunication non téléphoniques
Série G	Systèmes et supports de transmission, systèmes et réseaux numériques
Série H	Systèmes audiovisuels et multimédias
Série I	Réseau numérique à intégration de services
Série J	Réseaux câblés et transmission des signaux radiophoniques, télévisuels et autres signaux multimédias
Série K	Protection contre les perturbations
Série L	Construction, installation et protection des câbles et autres éléments des installations extérieures
Série M	RGT et maintenance des réseaux: systèmes de transmission, circuits téléphoniques, télégraphie, télécopie et circuits loués internationaux
Série N	Maintenance: circuits internationaux de transmission radiophonique et télévisuelle
Série O	Spécifications des appareils de mesure
Série P	Qualité de transmission téléphonique, installations téléphoniques et réseaux locaux
Série Q	Commutation et signalisation
Série R	Transmission télégraphique
Série S	Equipements terminaux de télégraphie
Série T	Terminaux des services télématiques
Série U	Commutation télégraphique
Série V	Communications de données sur le réseau téléphonique
Série X	Réseaux de données et communication entre systèmes ouverts
Série Y	Infrastructure mondiale de l'information et protocole Internet
Série Z	Langages et aspects généraux logiciels des systèmes de télécommunication