

## RAPPORT UIT-R F.2058

**Techniques de conception applicables aux systèmes d'accès hertzien fixe  
large bande acheminant des paquets du protocole Internet  
ou des cellules en mode de transfert asynchrone**

(2006)

## TABLE DES MATIÈRES

	<i>Page</i>
1 Introduction .....	2
2 Types de systèmes AHF acheminant des paquets IP ou des cellules ATM du point de vue de l'utilisation des canaux radioélectriques.....	2
3 Domaine d'application.....	3
4 Références .....	4
5 Abréviations .....	6
6 Caractéristiques techniques examinées .....	9
6.1 Accès multiple et modulation .....	9
6.2 CoS et QoS .....	10
6.3 Caractéristiques du temps de transfert.....	10
6.4 Technique VoIP.....	11
6.5 Techniques d'utilisation efficace du spectre .....	11
6.6 Techniques de correction d'erreurs dans un système AHF en mode ATM .....	12
ANNEXE 1 – Mécanisme visant à assurer la QoS ou la CoS dans les systèmes AHF large bande.....	12
ANNEXE 2 – Exemples de calcul du retard moyen dû au protocole d'accès et de sa variation dans des systèmes AHF utilisant l'accès AMDP/AC .....	32
ANNEXE 3 – Exemples de calcul du temps d'attente supplémentaire observé dans plusieurs flux VoIP pour les systèmes AHF en mode AMRT .....	37
ANNEXE 4 – Exemples de calcul du temps de transfert de réseau de classe QoS 0.....	42
ANNEXE 5 – Caractéristiques techniques des systèmes AHF large bande utilisées pour la téléphonie IP.....	47
ANNEXE 6 – Techniques pour améliorer l'efficacité d'utilisation du spectre .....	54
ANNEXE 7 – Techniques de correction d'erreurs dans un système AHF en mode ATM .....	57

## 1 Introduction

Il est urgent de disposer de services large bande dans le marché des télécommunications. Les besoins des utilisateurs ne sont pas uniformes mais sont au contraire diversifiés en termes de débit binaire et de qualité de service. Le protocole Internet (IP) et le mode de transfert asynchrone (ATM) deviennent des méthodes de transfert de base du signal dans les réseaux filaires récents, afin de répondre aux demandes des services multimédias. Cette tendance influe aussi sur les systèmes hertziens fixes utilisés dans les réseaux d'accès. Il est généralement admis que les systèmes d'accès hertzien fixe (AHF) de type IP ou ATM devraient, de préférence, avoir une capacité de contrôle de la qualité de service (QoS) ou de la classe de service (CoS) analogue à celle des systèmes filaires.

La QoS et la CoS sont des catégories définies conformément à des paramètres de qualité de transmission. La QoS est utilisée pour des classes de qualité de transmission qui répondent aux besoins de qualité des utilisateurs, alors que la CoS est généralement utilisée pour des classes de qualité analogue proposées à titre indicatif aux utilisateurs par un administrateur de réseau.

En outre, les systèmes AHF sont tenus de satisfaire aux objectifs de performance IP ou ATM dans le réseau filaire, tels qu'ils ont été adoptés dans les Recommandations UIT-T I.356 et Y.1541. Pour ce faire, les paramètres de la couche PHY des systèmes AHF doivent être conçus de façon à répondre à ces objectifs de performance IP ou ATM.

Les relations entre les paramètres de la couche PHY et les paramètres de performance de la couche IP, tels que le temps IPTD, sont décrites dans les Recommandations UIT-T Y.1540 et Y.1541. Les relations entre les paramètres de la couche PHY et les paramètres de performance de la couche ATM, tels que le taux de perte de cellules (CLR) ou le taux d'erreur sur les cellules (CER) sont décrites dans la Recommandation UIT-T I.356. De plus, les systèmes AHF en mode ATM devraient aussi satisfaire à l'objectif SESR spécifié dans la Recommandation UIT-R F.1668 (les caractéristiques et objectifs de qualité et de disponibilité applicables à l'AHF au réseau téléphonique public avec commutation (RPTC) sont décrits dans la Recommandation UIT-R F.1400).

Les technologies IP et ATM, en mode paquet ou cellule, fonctionnent à une fréquence d'horloge élevée où la transmission de paquets IP ou de cellules ATM peut influencer sur la conception du système et l'efficacité d'utilisation du spectre radioélectrique. Ces caractéristiques se traduiront par des méthodes de conception qui diffèrent de celles adoptées pour les systèmes vocaux AHF existants. Par ailleurs, les technologies nécessaires pour les paquets IP ou les cellules ATM dans les applications AHF sont, à bien des égards, communes à celles en vigueur dans les réseaux locaux hertziens (RLAN).

Le présent Rapport vise à fournir des exemples de techniques et de méthodes de conception qui ont trait aux différents aspects des systèmes AHF acheminant des données IP ou ATM.

## 2 Types de systèmes AHF acheminant des paquets IP ou des cellules ATM du point de vue de l'utilisation des canaux radioélectriques

Du point de vue de l'utilisation des canaux radioélectriques, il est possible de classer comme suit les types de systèmes AHF acheminant des paquets IP ou des cellules ATM.

Le premier type consiste à attribuer un canal radioélectrique exclusif à chaque abonné à titre permanent ou pendant un appel. Système type: le système d'accès hertzien large bande point à point (P-P) ou point-multipoint (P-MP) utilisant généralement des bandes de fréquences supérieures à 20 GHz. Ce type de système est utilisé en général pour les services d'accès par ligne louée.

Le deuxième type consiste à attribuer une ressource radioélectrique lors d'une tentative d'appel. Système type: le système AHF offrant des services de RTPC à la collectivité des utilisateurs. Parmi les systèmes, certains utilisent les technologies des systèmes d'accès hertzien mobile pour réduire le coût de l'équipement.

Le troisième type consiste à attribuer un canal radioélectrique uniquement lorsque le trafic se présente sous la forme de paquets IP ou de cellules ATM. Ce type de système permet une utilisation plus efficace des fréquences par rapport aux deux premiers, notamment pour la topologie P-MP, étant donné que les bits de préfixe ne sont pas trop nombreux. La topologie MP-MP se prête également à ce type de système AHF.

Les systèmes types (deuxième groupe) comprennent notamment ceux qui sont fondés sur les RLAN. L'utilisation de systèmes AHF, fondés sur les technologies RLAN, peut aussi constituer un avantage car ils permettent de réduire les coûts de l'équipement. Quant au troisième type de systèmes, il est possible d'expliquer comme suit une de ses caractéristiques du point de vue de la transmission des cellules ATM. Il existe deux cas de systèmes AHF acheminant des cellules ATM:

- a) le système AHF achemine des cellules ATM de façon transparente sans identifier aucun élément d'information contenu dans une cellule;
- b) le système AHF identifie les informations contenues dans la portion d'en-tête d'une cellule ATM et contrôle donc le traitement de chaque cellule à l'intérieur de la section radioélectrique.

Dans le cas a), la méthode de conception du système AHF devrait, pour l'essentiel, être identique à celle des systèmes conçus pour la transmission des signaux SDH, ce qui correspond au premier type de système AHF décrit plus haut.

En revanche, dans le cas b), il peut exister une méthode différente d'acheminer les cellules ATM sur la section radioélectrique afin d'utiliser efficacement le spectre radioélectrique.

Plusieurs RLAN, utilisés essentiellement pour l'accès hertzien nomade (AHN), ou encore d'autres types de systèmes d'accès hertzien utilisant des paquets IP ou des cellules ATM sur la section radioélectrique sont mis en œuvre sous la forme de produits commerciaux ou sont en cours d'examen dans des organismes de normalisation. Les normes applicables aux systèmes d'accès hertzien, fixe ou nomade, sont détaillées dans les Recommandations UIT-R F.757 et UIT-R M.1450.

### **3 Domaine d'application**

Le présent Rapport indique diverses techniques de conception applicables aux systèmes AHF de technologies RLAN ou AHN, qui assurent l'acheminement de paquets IP ou de cellules ATM à un débit supérieur à plusieurs Mbit/s, dans l'optique d'une pénétration ubiquitaire.

Les solutions de conception présentées dans les annexes du présent Rapport constituent une proposition, parmi d'autres, visant à répondre aux normes particulières de la couche MAC qui sont spécifiées dans des Recommandations de l'UIT-T relatives à la transmission IP et ATM. Il convient également de noter que les éléments d'information fournis dans l'Annexe 6 ne s'appliquent pas au trafic IP car la notion de cellule libre est propre au mode ATM.

Dans le contexte des systèmes AHF examinés dans le présent Rapport, l'accent est mis en particulier sur les applications P-MP où la capacité d'une porteuse radioélectrique fournie par une station de base sera partagée par plusieurs stations terminales, même si certaines des techniques décrites dans les annexes de ce Rapport s'appliquent aussi aux applications P-P et MP-MP.

## 4 Références

### Recommandations UIT-R

Recommandation UIT-R F.757	Caractéristiques de base et objectifs de qualité des accès hertziens fixes mettant en œuvre des technologies issues des systèmes mobiles offrant des services de téléphonie et de communication de données
Recommandation UIT-R M.1450	Caractéristiques des réseaux locaux hertziens à large bande
Recommandation UIT-R F.1668	Objectifs de qualité en matière d'erreur applicables aux liaisons hertziennes fixes numériques réelles utilisées dans des conduits et des connexions fictifs de référence de 27 500 km
Recommandation UIT-R F.1704	Caractéristiques des systèmes hertziens fixes multipoint à multipoint ayant une configuration de réseau maillé et fonctionnant dans les bandes de fréquences supérieures à 17 GHz environ
Recommandation UIT-R F.1763	Normes relatives aux interfaces radioélectriques pour les systèmes d'accès hertzien à large bande du service fixe fonctionnant au-dessous de 66 GHz

### Recommandations UIT-T

Recommandation UIT-T Y.1540	Service de communication de données par protocole Internet – Paramètres de performance pour le transfert de paquets IP et la disponibilité de ce service
Recommandation UIT-T Y.1541	Objectifs de performances de réseau pour les services en mode IP
Recommandation UIT-T P.800	Méthodes d'évaluation subjective de la qualité de transmission
Recommandation de l'UIT-T P.862	Fonction de conversion des notes brutes P.862 en notes moyennes d'opinion de qualité de liaison objective (MOS-LQO)
Recommandation UIT-T I.356	Caractéristiques du transfert de cellules de la couche ATM du RNIS-LB
Recommandation UIT-T G.107	Le modèle E: modèle de calcul utilisé pour la planification de la transmission
Recommandation UIT-T G.113	Dégradations de la transmission dues au traitement vocal
Recommandation UIT-T G.114	Temps de transmission dans un sens
Recommandation UIT-T G.711	Modulation par impulsions et codage (MIC) des fréquences vocales
Recommandation UIT-T G.723.1	Codeur vocal à double débit pour communications multimédias acheminées à 5,3 kbit/s et à 6,3 kbit/s

Recommandation UIT-T G.729

Codage de la parole à 8 kbit/s par prédiction linéaire avec excitation par séquences codées à structure algébrique conjuguée

### Autres

ETSI TS 101 761-1 v1.3.1

Broadband Radio Access Networks (BRAN); HIPERLAN Type 2; Data Link Control (DLC) Layer; Part 1: Basic Data Transport Functions.

ETSI TS 101 856 v1.1.1

Broadband Radio Access Networks (BRAN); Functional Requirements for Fixed Wireless Access systems below 11 GHz: HIPERMAN.

ETSI TS 101 999 v1.1.1

Broadband Radio Access Networks (BRAN); HIPERACCESS; PHY protocol specification.

IEEE standard for local and metropolitan area networks – Specific requirements – Part 11: Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications – Amendment 1: High-speed physical layer in the 5 GHz band.

IEEE standard for local and metropolitan area network – Specific requirements – Part 11: Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications.

IEEE standard for local and metropolitan area networks – Specific requirements – Part 11: Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications – Amendment 4: Further higher-speed physical layer extension in the 2.4 GHz band.

IEEE standard for local and metropolitan area networks – Part 16: Air interface for fixed broadband wireless access systems.

ARIB STD-T70 v1.0 – Low power data communication systems/broadband mobile access communication system (HiSWANa).

Design and considerations for traffic class expediting and dynamic multicast filtering, IEEE Std 802.1D Annex H, IEEE, 1998.

<http://www.ietf.org/html.charters/mpls-charters.html>

<http://www.ietf.org/html.charters/diffserv-charter.html>

<http://www.ietf.org/html.charters/rsvp-charter.html>

Wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications: Medium access control (MAC) enhancements for quality of service (QoS), IEEE std 802.11e/D1, mars 2001.

INOUE, Y., SAITOH, S., IIZUKA, M. et MORIKURA, M. [décembre 2000] A fair data transfer method by using a CoS control mechanism for fixed wireless access systems, The 2000 International Conference on broadband wireless access systems, p. 19-25.

KAGAMI, O., OTHA, A. et HOJO, H. [novembre 2002] Development of compact wireless access equipment for an AWA system based on HiSWANa standard, *NTT Rev.*, p. 49-53, Vol. 14, No. 6.

TTC Standard JJ-201.01 [2003] A method for speech quality assessment of IP telephony.

ETSI TR 101 329-7 – End-to-end quality of service in TIPHON systems; Design guide for elements of TIPHON connection from an end-to-end speech transmission point of view.

MASUDA, M. et ORI, K. [novembre 2001] Network performance metrics in estimating the speech quality of VoIP, IEICE APSITT2001, p. 333-337.

ICHIKAWA, T., *et autres*, *Approximation of characteristics of CSMA/CA based on IEEE 802.11 standard*, B-5-186, Proceedings of the 2003 IEICE Society Conference.

## 5 Abréviations

Le présent Rapport utilise les abréviations suivantes:

ACK	Accusé de réception ( <i>acknowledge</i> )
AHF	Accès hertzien fixe ( <i>fixed wireless access</i> )
AHN	Accès hertzien nomade ( <i>nomadic wireless access</i> )
AIFS	Espace intertrames d'arbitrage ( <i>arbitration inter-frame space</i> )
AMDP/AC	Accès multiple avec détection de porteuse anti-collision ( <i>carrier sensing multiple access with collision avoidance</i> )
AMRS	Accès multiple à répartition spatiale ( <i>space division multiple access</i> )
AMRT	Accès multiple par répartition dans le temps
ARQ	Demande automatique de répétition ( <i>automatic repeat request</i> )
ATM	Mode de transfert asynchrone ( <i>asynchronous transfer mode</i> )
BC	Canal de radiodiffusion ( <i>broadcast channel</i> )
BCC	Code convolutif par bloc ( <i>block convolutional code</i> )
BE	Meilleur effort ( <i>best effort</i> )
BEB	Ralentissement binaire exponentiel ( <i>binary exponential backoff</i> )
BS	Station de base ( <i>base station</i> )
BWA	Accès hertzien à large bande ( <i>broadband wireless access</i> )
CBQ	Mise en file d'attente en fonction de la catégorie ( <i>class based queuing</i> )
CBR	Débit binaire constant ( <i>constant bit rate</i> )
CDV	Variation du temps de transfert de cellules ( <i>cell delay variation</i> )
CED	Correction d'erreur directe
CER	Taux d'erreur sur les cellules ( <i>cell error ratio</i> )
CLR	Taux de perte de cellules ( <i>cell loss ratio</i> )
CMR	Taux de mauvaise insertion de cellules ( <i>cell misinsertion ratio</i> )
CoS	Classe de service ( <i>class of service</i> )
CTD	Temps de transfert des cellules ( <i>cell transfer delay</i> )
CW	Fenêtre de contention ( <i>contention window</i> )
CWmin	Fenêtre de contention minimale ( <i>contention window minimum</i> )
DAMA	Accès multiple avec assignation à la demande)
DCF	Fonction de coordination décentralisée ( <i>distributed coordination function</i> )
DiffServ	Service différencié ( <i>differentiated service</i> )
DIFS	Espace intertrames de la fonction de coordination décentralisée ( <i>distributed coordination function inter frame space</i> )

DL	Liaison de données ( <i>data link</i> )
DRT	Duplex à répartition dans le temps ( <i>time division duplex</i> )
DS	Service différencié ( <i>differentiated service</i> )
DSA	Assignation dynamique d'intervalle ( <i>dynamic slot assignment</i> )
EDCF	Fonction de coordination décentralisée améliorée ( <i>enhanced distributed coordination function</i> )
FCS	Séquence de contrôle de trame ( <i>frame check sequence</i> )
FDD	Duplex à répartition en fréquence (DRF) ( <i>frequency division duplex</i> )
FIFO	Premier entré, premier sorti ( <i>first in first out</i> )
FSDD	Duplexage par répartition à commutation de fréquence ( <i>frequency switched division duplexing</i> )
FTP	Protocole de transfert de fichiers ( <i>file transfer protocol</i> )
GBN	Méthode avec mémoire à N blocs ( <i>go-back-n method</i> )
GBR	Débit binaire garanti ( <i>guaranteed bit rate</i> )
HCF	Fonction de coordination hybride ( <i>hybrid coordination function</i> )
HEC	Protection contre les erreurs d'en-tête ( <i>header error control</i> )
HIPERACCESS	Réseau d'accès radioélectrique à haute performance ( <i>high performance radio ACCESS network</i> )
HIPERMAN	Réseau radioélectrique de zone urbaine à haute performance ( <i>high performance radio metropolitan area network</i> )
HRP	Conduit fictif de référence ( <i>hypothetical reference path</i> )
IEEE	Institut des ingénieurs en électricité et en électronique ( <i>Institute of Electrical and Electronics Engineering</i> )
IETF	Groupe d'étude sur l'ingénierie Internet ( <i>internet engineering task force</i> )
IP	Protocole Internet ( <i>internet protocol</i> )
IPDV	Variation de temps de paquet IP ( <i>IP packet delay variation</i> )
IPER	Taux d'erreur sur les paquets IP ( <i>IP packet error ratio</i> )
IPLR	Taux de perte de paquet IP ( <i>IP packet loss ratio</i> )
IPTD	Temps de transfert de paquet IP ( <i>IP packet transfer delay</i> )
LCO	Résultat de la perte de cellules ( <i>loss cell outcome</i> )
LDP	Protocole de distribution avec étiquette ( <i>label distribution protocol</i> )
LSR	Routeur à commutation d'étiquette ( <i>label switching router</i> )
MAC	Couche de commande d'accès au support physique ( <i>media access control layer</i> )
MC	Multidiffusion ( <i>multicast</i> )
MOS	Note moyenne d'opinion ( <i>mean opinion score</i> )
MP	Point de mesure ( <i>measurement point</i> )
MPLS	Commutation multiprotocolaire par étiquetage ( <i>multi-protocol label switching</i> )

MP-MP	Multipoint à multipoint ( <i>multipoint-to-multipoint</i> )
MROF	Multiplexage par répartition orthogonale de la fréquence ( <i>orthogonal frequency division multiplexing</i> )
MRT	Multiplexage temporel
NAK	Accusé de réception négatif ( <i>negative acknowledge</i> )
nrtPS	Service d'interrogation en temps différé ( <i>non-real-time polling service</i> )
PCR	Débit cellulaire crête ( <i>peak cell rate</i> )
PDU	Unités de données de protocole ( <i>protocol data units</i> )
PESQ	Evaluation de la qualité vocale perçue ( <i>perceptual evaluation of speech quality</i> )
PHB	Comportement par bond ( <i>per-hop behaviour</i> )
PHSI	Identificateur de suppression d'en-tête de charge utile ( <i>payload header suppression identifier</i> )
PHY	Couche physique ( <i>physical layer</i> )
PLC	Masquage de perte de paquets ( <i>packet loss concealment</i> )
P-MP	Point à multipoint ( <i>point-to-multipoint</i> )
P-P	Point à point ( <i>point-to-point</i> )
$P_{pl}$	Probabilité de perte de paquets ( <i>packet loss probability</i> )
$P_{plB}$	Probabilité de perte de paquets dans le tampon d'absorption de gigue ( <i>packet loss probability in jitter absorption buffer</i> )
$P_{plN}$	Probabilité de perte de paquets dans le réseau ( <i>packet loss probability in network</i> )
PS	Intervalle physique ( <i>physical slot</i> )
QoS	Qualité de service ( <i>quality of service</i> )
R	Facteur d'évaluation ( <i>rating factor</i> )
RLAN	Reseau local hertzien ( <i>local area network</i> )
RPTC	Réseau téléphonique public commuté
RSVP	Protocole de réservation de ressources ( <i>resource reservation protocol</i> )
rtPS	Service d'interrogation en temps réel ( <i>real-time polling service</i> )
RTS/CTS	Demande pour émettre/prêt à émettre
SC	Porteuse unique ( <i>single carrier</i> )
SDH	Hiérarchie numérique synchrone ( <i>synchronous digital hierarchy</i> )
SIFS	Bref espace intertrames ( <i>short inter frame space</i> )
SLA	Accord de niveau de service ( <i>service level agreement</i> )
SR	Répétition sélective ( <i>selective repeat</i> )
TC	Catégorie de trafic ( <i>traffic category</i> )
TCI	Informations de commande d'étiquette ( <i>tag control information</i> )



TEB	Taux d'erreur binaire
ToS	Type de service ( <i>type of service</i> )
TTC	Comité des technologies de télécommunication ( <i>Telecommunication Technology Committee</i> )
UBR	Débit non spécifié ( <i>unspecified bit rate</i> )
UGS	Service d'attribution non sollicitée ( <i>unsolicited grant service</i> )
UIT-R	Union internationale des télécommunications – Secteur des radiocommunications ( <i>International Telecommunication Union – Radiocommunication Sector</i> )
UIT-T	Union internationale des télécommunications – Secteur de la normalisation des télécommunications ( <i>International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector</i> )
UNI	Interface utilisateur-réseau ( <i>user network interface</i> )
VoIP	Protocole de transmission de la voix par Internet ( <i>voice over Internet protocol</i> )
WAN	Réseau grande distance ( <i>wide area network</i> )
WFQ	Gestion équitable pondérée de files d'attente ( <i>weighted fair queuing</i> )
WRR	Pondération comparative ( <i>weighted round robin</i> )

## 6 Caractéristiques techniques examinées

### 6.1 Accès multiple et modulation

A titre indicatif, on pourra se référer au Tableau 1, récapitulatif des méthodes préférées qui s'appuient sur des techniques d'accès multiple et de modulation applicables aux systèmes AHF large bande acheminant des paquets IP ou des cellules ATM.

TABLEAU 1

#### Méthodes s'appuyant sur des techniques d'accès multiple et de modulation

Signal acheminé	Accès multiple <sup>(1)</sup>	Modulation
Paquet IP	TDM-TDD/FDD TDMA-TDD/FDD OFDMA-TDD/FDD DAMA-TDD/FDD CSMA/CA DSSS-OFDM	Adaptative (MAQ-4, -16 et -64) <sup>(2)</sup> Adaptative (MDP-2, MAQ-4, -16 et -64) <sup>(2)</sup> Adaptative (MDP-2, MAQ-4, -16, -64 et -256) <sup>(2)</sup> Prédéterminée (MAQ-4 et -16) CCK (MDP-4) DSSS (MDP-2, MDP-4)
Cellule ATM	TDM-TDD/FDD TDMA-TDD/FDD OFDMA-TDD/FDD DAMA-TDD/FDD	Adaptative (MAQ-4, -16 et -64) <sup>(2)</sup> Adaptative (MDP-2, MAQ-4, -16 et -64) <sup>(2)</sup> Adaptative (MDP-2, MAQ-4, -16, -64 et -256) <sup>(2)</sup> Prédéterminée (MAQ-4 et -16)

<sup>(1)</sup> Y compris la technique duplex.

<sup>(2)</sup> Ces techniques de modulation peuvent être appliquées conjointement avec le multiplexage MROF.

## 6.2 CoS et QoS

Dans les diverses applications large bande, il existe une plus forte demande pour des services dont la qualité est garantie. Il est également souhaitable d'adopter une garantie de qualité de service dans les systèmes AHF où la qualité des communications correspond aux différents services offerts.

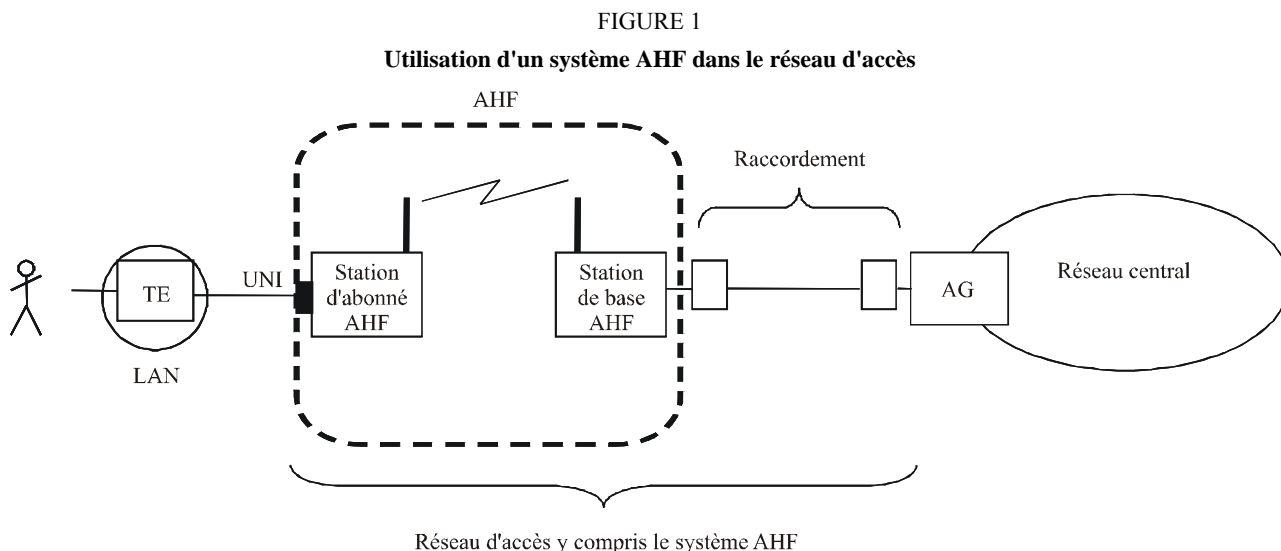
Un système AHF en mode ATM dispose d'une capacité de contrôle de la QoS, qui est une des capacités offertes par le transport ATM. Inversement, le contrôle de la CoS constitue une solution réaliste dans les systèmes AHF en mode IP en raison de la largeur de bande limitée et des caractéristiques du canal radioélectrique.

L'Annexe 1 décrit un mécanisme de contrôle de la CoS et de la QoS dans des systèmes AHF à commande décentralisée ou à commande centralisée.

## 6.3 Caractéristiques du temps de transfert

La Recommandation UIT-T Y.1541 définit des objectifs de performance généraux pour les services en mode IP. Parmi les paramètres de performance, il convient de tenir compte du temps de transfert, c'est-à-dire du temps IPTD et de la variation IPDV définis dans la Recommandation UIT-T Y.1540, pour la conception des systèmes AHF acheminant des paquets IP ou des cellules ATM.

Pour l'instant, il n'existe aucune spécification sur la façon dont les besoins de bout en bout d'interfaces UNI-UNI en termes de paramètres IPTD et IPDV sont subdivisés en portions individuelles formant le réseau d'accès. Pour l'essentiel, les systèmes AHF devraient être conçus de sorte qu'il soit possible de satisfaire aux paramètres IPTD et IPDV globaux (voir la configuration de la Fig. 1), c'est-à-dire aux prescriptions indiquées dans la Recommandation UIT-T Y.1541.



AG: Passerelle d'accès  
TE: Equipement terminal  
UNI: Interface utilisateur-réseau

Rap 2058-01

Pour satisfaire aux prescriptions susmentionnées, il convient de tenir compte des considérations ci-après.

En général, l'équipement des systèmes AHF (par exemple, la station d'abonné, la station de base, etc.) peut être doté de tampons pour contrôler les temporisations de transmission, compenser la gigue, formater les trames, etc. Ces tampons peuvent introduire une dégradation du temps de transfert dans les systèmes AHF. Les protocoles d'accès représentatifs de ces systèmes sont les suivants: AMDP/AC et AMRT, protocoles d'accès qui pourraient devenir les facteurs dominants des caractéristiques de temps de transfert dans lesdits systèmes.

### 6.3.1 Considérations concernant le temps IPTD

Dans un système AMDP/AC, pour éviter une collision des paquets, on adopte des techniques de ralentissement et d'émission RTS/CTS. Ces techniques entraînent une dégradation du temps IPTD, surtout lorsque de nombreuses stations cherchent à envoyer simultanément des paquets (voir l'Annexe 2).

Dans un système AMRT, les stations de base contrôlent la totalité des largeurs de bande et les assignent à chaque flux de service, afin de pouvoir établir, en principe, des connexions sans collision. Une fois que la procédure de connexion initiale peut aboutir, il ne se produira aucune dégradation du temps IPTD comme dans le système AMDP/AC dont il a été question plus haut. Toutefois, plusieurs facteurs comme l'algorithme de programmation, la structure de trame, les charges de trafic et la capacité peuvent occasionner une dégradation du temps IPTD (voir l'Annexe 3).

### 6.3.2 Considérations concernant la variation IPDV

Les systèmes AHF utilisant l'accès AMDP/AC adoptent en général un procédé BEB. Il peut parfois en résulter d'importantes variations IPDV. Ce procédé réduit la possibilité de retransmissions simultanées par de nombreuses stations mais subit une dégradation de la variation IPDV. De plus, surtout lorsqu'un paquet long occupe le canal radioélectrique pendant longtemps, le temps d'attente pour la transmission d'autres paquets augmentera. D'où, ici encore, une dégradation de la variation IPDV.

Dans un système AMRT, les stations de base peuvent contrôler les largeurs de bande en fonction du flux de service. Il est donc possible d'avoir une transmission de gigue faible par rapport à l'accès AMDP/AC.

L'Annexe 4 contient des indications techniques et des exemples de calcul des paramètres IPTD et IPDV d'un système hertzien dans la portion d'accès du réseau IP.

## 6.4 Technique VoIP

Le protocole VoIP est considéré, depuis quelque temps, comme l'une des solutions les plus intéressantes du réseau IP.

Plusieurs paramètres de performance permettent d'obtenir une certaine QoS pour le protocole VoIP. Certains comme le temps de transfert ou le taux de perte des paquets sont définis dans les Recommandations de l'UIT-T pour le réseau de bout en bout (y compris les sections filaires et hertziennes). Il conviendrait aussi de définir les objectifs applicables à ces paramètres de performance pour les sections hertziennes.

L'Annexe 5 contient les caractéristiques techniques des systèmes AHF large bande pour la téléphonie VoIP, qui résultent des études menées par le Comité TTC (voir la norme TTC JJ-201.01 – A Method for Speech Quality Assessment of IP Telephony, 2003).

## 6.5 Techniques d'utilisation efficace du spectre

Deux techniques sont possibles: la commande de la couche PHY et la commande de la couche MAC.

La technique de commande de la couche PHY est en outre subdivisée en deux catégories. Dans le premier cas, il s'agit de remplir des paquets ou des cellules en appliquant une modulation adaptative, le duplex DRT adaptatif et l'accès DAMA. Dans le second, il s'agit d'améliorer l'efficacité d'utilisation du spectre en appliquant l'accès AMRS avec une antenne sectorielle ou une antenne-réseau.

La technique de commande de la couche MAC consiste à attribuer un spectre approprié aux données en fonction des applications prévues ou de la qualité de service. Les données sont fragmentées ou organisées en paquets, afin d'améliorer l'utilisation efficace des données. L'Annexe 6 décrit une technologie visant à supprimer les cellules libres sans recourir à la variation CDV dans les systèmes AHF en mode ATM, afin d'obtenir une utilisation efficace du spectre.

## **6.6 Techniques de correction d'erreurs dans un système AHF en mode ATM**

Dans les systèmes AHF en mode ATM, la demande ARQ et/ou la correction FEC permettent d'améliorer efficacement les paramètres de qualité en termes d'erreur.

L'Annexe 7 présente les techniques de correction d'erreurs applicables à un système AHF en mode ATM.

# **Annexe 1**

## **Mécanisme visant à assurer la QoS ou la CoS dans les systèmes AHF large bande**

### **1 Introduction**

La présente annexe contient une description des mécanismes permettant d'assurer la QoS et/ou la CoS dans les systèmes AHF large bande. Il existe deux types de systèmes d'accès radioélectrique: le système de commande décentralisée et le système de commande centralisée. Les systèmes IEEE 802.11 constituent un exemple de système de commande décentralisée. Ce sont des services à commutation par paquet ayant adopté l'accès AMDP/AC. Par ailleurs, une station de base assigne l'intervalle de temps de la trame MAC AMRT à des terminaux d'abonnés ou une séparation fréquence/temps combinée en mode d'accès MROF dans le système de commande centralisée. Exemples de systèmes de commande centralisée: ETSI-BRAN HIPERMAN, HIPERACCESS, HIPERLAN, IEEE 802.16-2004 ou MMAC-HSWA HiSWAN. La fonction intégrale de QoS, même dans des conditions de surcharge, est réalisable uniquement avec des systèmes de commande centralisée.

Pour obtenir les paramètres de QoS et de CoS, deux schémas sont possibles. Le premier est un schéma priorisé offrant une commande de priorité entre les classes de service sans préciser aucun paramètre spécifique au service. Le second est un schéma paramétré visant à assurer les paramètres requis de qualité de la communication. Seul un tel schéma a la possibilité de garantir la qualité de service.

Tout d'abord, on trouvera un aperçu général du contrôle de la CoS au § 2. Les mécanismes de mise en file d'attente et de gestion des priorités pour la prise en charge du contrôle de la CoS sont ensuite indiqués au § 3. Par la suite, les § 4 et 5 décrivent, respectivement, le mécanisme de contrôle de la CoS applicable à un système de commande décentralisée et le mécanisme de contrôle de la QoS applicable à un système de commande centralisée. Enfin, le § 6 a pour objet de comparer un système de commande décentralisée avec un système de commande centralisé.

## 2 Aperçu général de contrôle de la CoS

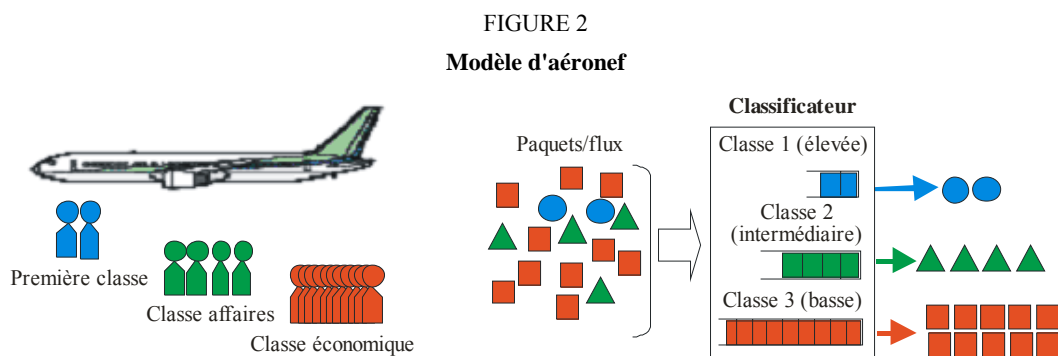
### 2.1 Modèle d'aéronef

Le «modèle d'aéronef» (voir la Fig. 2) permet souvent d'expliquer le concept de contrôle de la CoS. La qualité de service fait l'objet de plusieurs classes de service à l'instar des sièges d'un aéronef qui sont répartis en première classe, classe affaires et classe économique. Les classes de service supérieur par rapport à la classe de service habituelle «au mieux» offrent des services de niveau supérieur, par exemple en assurant un temps de transfert minimal ou une disponibilité de largeur de bande. Un service de haute qualité est fourni si la demande de l'utilisateur est acceptée. Des méthodes de contrôle d'admission ou de gestion de politique déterminent les classes de service qui sont autorisées pour le transfert de données et chaque transfert dépend de la qualité offerte par chaque classe de service. Toutefois, la quantité de trafic acheminé dans ces classes de service supérieur est limitée en raison des limitations de la largeur de bande disponible.

### 2.2 Mécanisme de contrôle de la CoS pour des flux au mieux dans l'environnement AHF

#### 2.2.1 Commande de priorité pour le contrôle de la CoS

Il faut au moins deux paramètres de CoS pour assurer le contrôle de la CoS. La priorité est associée à la CoS et le service est différencié en fonction de la priorité. La station de base (BS) doit déterminer la CoS pour chaque transfert effectué au mieux. Un abonné a besoin de connaître la CoS lorsqu'il transmet ses données «au mieux». Les méthodes qui permettent de déterminer la CoS et de la transférer à l'abonné sont présentées dans les paragraphes qui suivent.



### 2.2.2 Définition des priorités

Il existe plusieurs moyens de définir la CoS pour l'acheminement des données «au mieux» entre la station de base et une station d'abonné. Il se peut que les utilisateurs de la classe affaires ou les clients haut de gamme aient la plus haute priorité par rapport aux autres utilisateurs pour acheminer ce type de données. En pareil cas, un mécanisme d'authentification est utilisé pour définir la CoS de l'abonné. La station de base peut contrôler la largeur de bande attribuée à un abonné qui utilise les ressources du système en transmettant ou en recevant un volume plus important de données. Pour protéger les ressources du système contre des abonnés trop gourmands, la station de base peut modifier la CoS d'un tel abonné en lui attribuant une valeur faible. Dans ce cas, la station de base vérifie le volume de données transmises et/ou reçues par chaque abonné et modifie la CoS en fonction du volume de données et du seuil établi.

Dans les deux cas, il appartient à la station de base de définir la CoS d'un abonné. Dans le premier cas, la station de base peut faire appel au serveur d'authentification ou peut vérifier la base de données interne. Dans le dernier cas, elle peut contrôler la CoS proposée à chaque abonné.

### 2.2.3 Notification de la CoS aux abonnés

Pour assurer le contrôle de la CoS dans les deux sens, la station de base doit noter la CoS de chaque abonné. A cet effet, on utilise la signalisation amont ou aval.

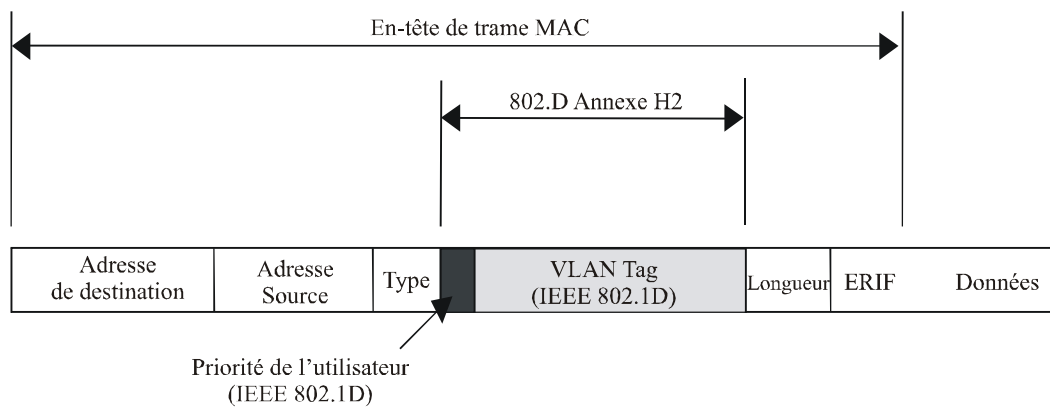
Dans la signalisation amont, la station de base envoie les informations de classe de service à chaque abonné avant le transfert de données. En pareil cas, la station doit également notifier à l'abonné toute modification de son paramètre CoS.

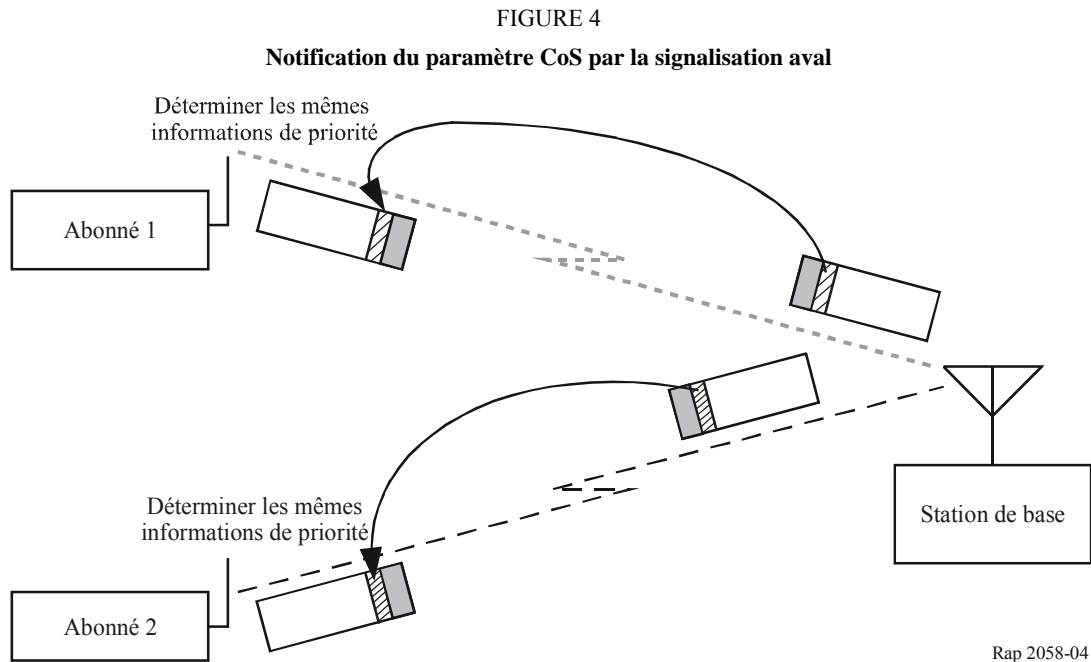
Dans la signalisation aval, la station de base envoie des informations précises sur la CoS en même temps que les données en appliquant un mécanisme analogue à celui qui est défini dans l'Annexe H2 de la norme IEEE 802.1D (voir la Fig. 3). La station de base fixe la priorité d'une trame dans l'en-tête de trame. Etant donné que la priorité est associée à la CoS, l'abonné peut distinguer ce paramètre des informations de priorité.

Comme cela est indiqué à la Fig. 4, l'abonné détermine les mêmes informations de priorité avec la dernière trame de données reçues.

FIGURE 3

#### Commande de priorité avec étiquetage de trame





Il faut que la CoS qui a été définie soit prise en considération dans la méthode de contrôle d'accès. Bien qu'il existe de nombreuses méthodes d'accès aléatoire, la plupart d'entre elles n'admettent pas une telle fonctionnalité. Il a été proposé d'adopter une méthode fondée sur l'accès AMDP/AC pour assurer une transmission par ordre de priorité.

La mise en place d'un système de commande de priorité avec signalisation aval semble constituer une solution réaliste pour le contrôle de la CoS dans les systèmes AHF car il n'est pas nécessaire d'avoir une largeur de bande trop importante par rapport à la signalisation amont.

## 2.3 Effet du contrôle de la CoS

### 2.3.1 Accès équitable

Le contrôle de la CoS est utile en ce sens qu'il empêche un utilisateur donné d'occuper la largeur de bande limitée du canal hertzien et offre un accès équitable à tous les abonnés. En abaissant une classe de service à un niveau inférieur à celui de la classe habituelle «au mieux», un abonné qui utilise à lui seul l'essentiel de la ressource fréquence dégradera obligatoirement la classe de service.

En vérifiant le volume de données transférées pour chaque abonné dans les stations de base, l'opérateur peut connaître l'activité de chaque utilisateur. Il existera des moyens de vérifier la quantité de données transférées par utilisateur. Par exemple, l'adresse IP peut suffire pour distinguer un gros utilisateur. Bien entendu, l'opérateur peut vérifier plus en détail le flux de trafic.

Le fournisseur de services doit avoir un mécanisme de gestion de politique pour protéger les ressources du système contre un utilisateur qui, intentionnellement, utiliserait à l'excès les ressources du système.

### 2.3.2 Contrôle de bout en bout de la CoS

Pour offrir un contrôle de bout en bout de la CoS, les stations de base des systèmes AHF et/ou leurs routeurs supérieurs doivent être équipés de fonctions de traitement de la CoS et, si possible, les terminaux d'utilisateurs devraient avoir aussi une fonctionnalité correspondante. La question de savoir si le contrôle de la CoS est assuré dépend de la largeur de bande disponible. Pour répondre aux différents besoins des abonnés, le système nécessite une largeur de bande beaucoup plus importante que celle nécessaire pour les services habituels «au mieux». Bien que la largeur de

bande soit limitée et que le canal radioélectrique ne soit pas véritablement fiable, un certain niveau de contrôle de la CoS sera néanmoins offert.

### 3 Mécanismes de mise en file d'attente et de gestion des priorités pour assurer le contrôle de la CoS dans les systèmes AHF

#### 3.1 Introduction

Le présent paragraphe a pour objet de décrire les mécanismes de mise en file d'attente et de gestion des priorités propres à assurer le contrôle de la CoS dans les systèmes AHF. Un mécanisme de mise en file d'attente qui propose la commande de priorité et/ou des transmissions équitables de données servira à différencier les services en fonction des différentes classes disponibles. Certains types de mécanismes de mise en file d'attente selon la priorité y sont brièvement décrits. De plus, il est proposé que le mécanisme de gestion des priorités permette un transfert équitable des données grâce à l'utilisation du mécanisme de contrôle de la CoS.

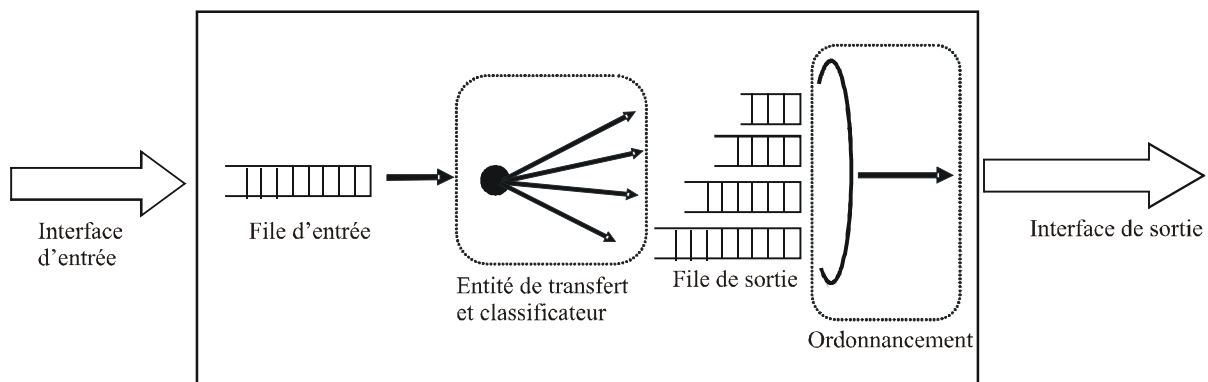
#### 3.2 Mécanismes de mise en file d'attente pour les systèmes AHF

Le contrôle de la CoS est le mécanisme qui permet d'assurer la qualité des communications de chaque transfert de données en fonction de sa classe de service. Il est effectivement réalisé lorsque la totalité des nœuds entre les systèmes d'extrémité sont à même de différencier les services en fonction de la classe de service disponible. Le mécanisme de base utilisé à cet effet est la mise en file d'attente.

On peut considérer la mise en file d'attente comme une opération visant à utiliser un tampon pour réordonner les paquets IP, opération très importante dans les nœuds de transfert. Elle est effectuée lorsque le nœud réachemine un paquet provenant de la file d'entrée d'une interface vers la file de sortie d'une autre interface (voir la Fig. 5). Dans ce processus, la classification des paquets et leur ordonnancement dans la file de sortie jouent un rôle très important dans le contrôle de la CoS. Les méthodes de mise en attente des files de sortie, c'est-à-dire d'ordonnancement des paquets sont analysées dans le présent paragraphe et certains mécanismes de base y sont présentés brièvement.

FIGURE 5

Mise en file d'attente et ordonnancement des paquets dans un nœud de transfert





### **3.2.1 Mécanisme de mise en file d'attente selon le principe «premier entré, premier sorti» (FIFO)**

Le mécanisme FIFO constitue la méthode type d'acheminement du paquet IP depuis l'interface d'entrée jusqu'à l'interface de sortie en mode enregistrement et retransmission. Dans ce mécanisme, les paquets entrants sont placés dans la file d'attente d'après leur ordre d'arrivée et les paquets sont envoyés dans le même ordre vers l'interface de sortie.

Le mécanisme FIFO est le plus populaire et nombreux sont les constructeurs qui le mettent en œuvre dans leurs propres produits. Malgré la simplicité et la rapidité de ce mécanisme, les paquets restent plus longtemps dans la file d'attente lorsque la charge de trafic augmente. De plus, comme il ne peut différencier les services, il lui est difficile d'assurer des fonctions de contrôle de la CoS.

### **3.2.2 Desserte prioritaire**

Dans ce mécanisme, les paquets de haute priorité sont toujours traités avant les autres. Dans la desserte prioritaire, le type de trafic est défini et le paquet de haute priorité est placé en tête de la file de sortie. Plusieurs files de sortie correspondant aux classes de trafic offertes peuvent être utilisées. Dans ce système, les paquets d'arrivée sont placés dans la file de sortie selon un ordre déterminé. Par conséquent, les paquets de haute priorité sont transmis avant ceux qui ont une priorité plus faible.

### **3.2.3 Mise en file d'attente en fonction de la catégorie (CBQ)**

Dans ce système, l'opérateur du réseau définit des classes de trafic pour réaliser différentes opérations de transfert en fonction des types de trafic. Un paquet est acheminé en fonction de sa classe de trafic. Les nœuds de transfert disposent de files de sortie pour chaque classe de trafic et l'opérateur peut programmer le trafic de sortie pour chaque file. Contrairement à la desserte prioritaire, la CBQ permet à chaque paquet de pouvoir être transféré en fonction de la classe de transmission.

### **3.2.4 Gestion équitable pondérée (WFQ)**

Le système WFQ combine la desserte prioritaire et la gestion équitable de files. Il permet un transfert équitable des données en fonction de la priorité et du volume de trafic pour chaque classe considérée.

## **3.3 Contrôle de la CoS à la couche 3 ou à des couches supérieures**

S'agissant du contrôle de la CoS entre des utilisateurs finals, des mécanismes fonctionnant au niveau de la couche IP ont été proposés et assurent efficacement le contrôle de la CoS de bout en bout. Si la fonctionnalité est offerte par les stations de base des systèmes AHF ou par les routeurs présents dans le système, plusieurs services multimédias peuvent être proposés. Les méthodes actuelles de contrôle de la CoS pour les couches 2 ou 3 ou plus sont indiquées au Tableau 2.

### **3.3.1 Commutation multiprotocolaire par étiquetage (MPLS)**

Cette technique est appliquée au transfert des paquets à grande vitesse. Une étiquette pouvant relever de la couche liaison de données est assignée au flux de données pour le distinguer des autres flux. Dans la commutation MPLS, on utilise des routeurs LSR lorsque le transfert des paquets n'est pas effectué par la couche 3 mais par la couche 2 qui vérifie l'étiquette dans l'en-tête de trame des paquets. La commutation des paquets à grande vitesse est donc mise en œuvre car l'analyse des en-têtes IP n'est pas nécessaire sauf pour le premier paquet.

TABLEAU 2

**Méthodes actuelles de contrôle de la CoS**

Couche	Méthode		Normalisation
Couche 2	IEEE 802.1D Annexe H2	IEEE 802.1D Annexe H2 Tagging	Commission IEEE 802
Couche 3-4	MPLS	Commutation d'étiquettes	IETF
	DiffServ	Utilisation du champ DS (Champ ToS IP)	IETF
	RSVP	Signalisation RSVP	IETF

Lorsqu'une étiquette est assignée au transfert de données, il est également possible de lui assigner une qualité de service. L'étiquette choisie pour le transfert de données est communiquée aux autres routeurs LSR par le protocole LDP. A ce moment-là, la classe de service est également attribuée et le paramètre CoS est fourni par les routeurs LSR. Pour les besoins du contrôle de la CoS de bout en bout, il faut qu'un routeur périphérique, le routeur LSR qui relie un routeur classique et d'autres routeurs LSR, prenne aussi en charge le modèle DiffServ.

**3.3.2 Services différenciés (DiffServ)**

Dans le modèle DiffServ, les niveaux de service sont identifiés par le champ ToS dans l'en-tête de paquet IP. Ce champ n'est pas utilisé dans la version IPV4 et sa signification est redéfinie dans le modèle DiffServ. Un mécanisme de contrôle du trafic fondé sur les politiques ou sur les règles est proposé dans le domaine DS, établi à partir des nœuds de DS. Le fonctionnement de ces nœuds, par exemple le transfert de paquets pour chaque flux de données ayant une CoS spécifique, est défini par le comportement PHB.

Lors du transfert de données sur des domaines DS avec une qualité de service précise, les serveurs de politiques de ces domaines DS négocient entre eux. La largeur de bande nécessaire au transfert de données est acquise par un courtier en largeur de bande si l'accord SLA est conclu.

**3.3.3 Gestion du réseau fondé sur les politiques dans l'optique de la fourniture de la CoS**

Pour déterminer la priorité du transfert de données en fonction des besoins d'un abonné ou pour contrôler la priorité d'un abonné, il faut appliquer une gestion du réseau fondée sur des politiques ou des règles. Le contrôleur, responsable des politiques ou de l'admission, aura pour tâche de gérer les ressources du réseau ou la priorité des abonnés.

Dans ce système de gestion du réseau, il est souhaitable de mettre en place un mécanisme de commande d'accès centralisé au niveau du protocole de couche 2 dans les systèmes AHF. Bien que l'accès aléatoire, tel que l'accès AMDP ou des variations de celui-ci, puissent suffire pour offrir des services «au mieux», il sera nécessaire de mettre en place des mécanismes d'accès centralisé, comme un protocole en mode interrogation pour acheminer comme il se doit la CoS qui a été établie pour le flux de données.

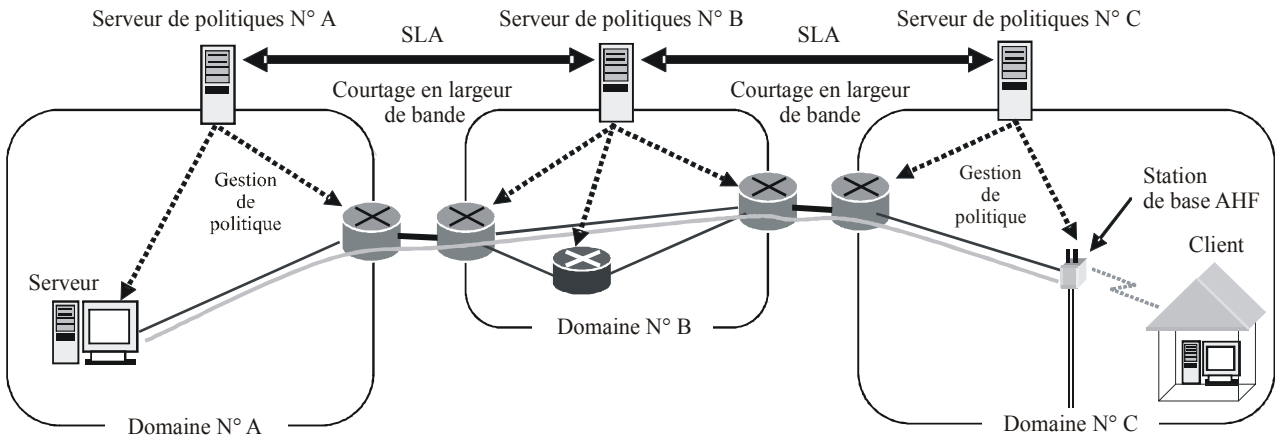
Un exemple est donné à la Fig. 6.

**3.3.4 Mécanisme de contrôle de la CoS dans les systèmes AHF**

Il est possible d'envisager certaines stratégies de mise en œuvre du mécanisme de la CoS dans les systèmes AHF d'après la fonctionnalité de la station de base AHF. Pour l'essentiel, la couche MAC disposera d'une fonctionnalité de contrôle de la CoS pour un flux de données dans la région hertzienne car la procédure d'accès y est définie.

FIGURE 6

**Réseau fondé sur les politiques**



Rap 2058-06

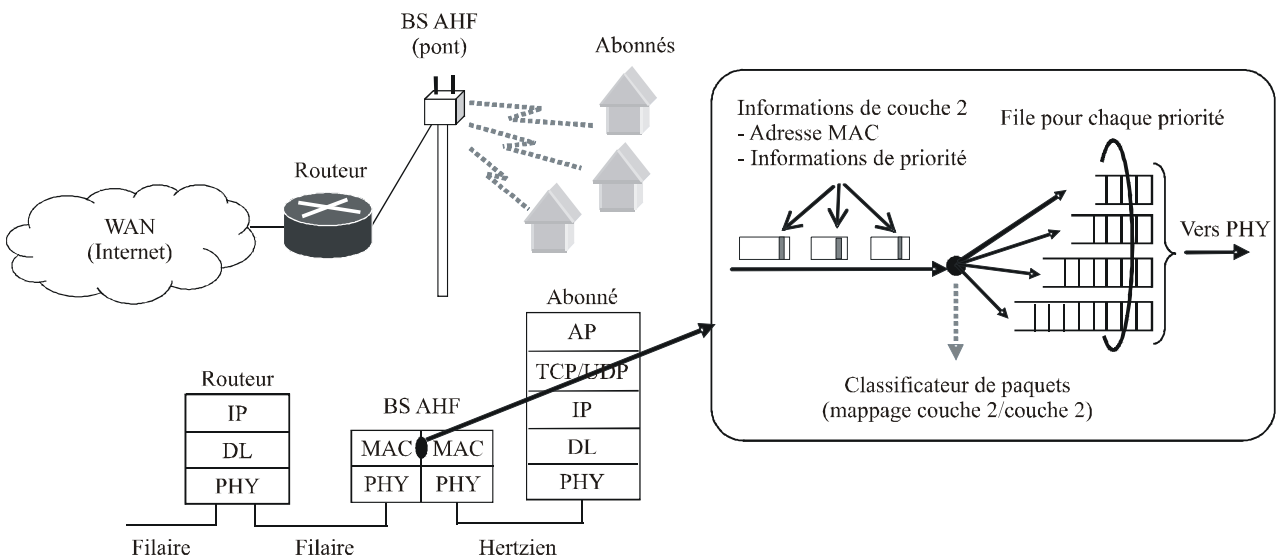
**3.3.4.1 La station de base AHF est un pont**

Dans ce cas (voir la Fig. 7), il est facile d'obtenir la CoS en veillant à ce qu'une file corresponde à chaque classe de service. D'après les informations de priorité contenues dans l'en-tête de la trame MAC, la station de base détecte la priorité de la trame et la classe dans la file appropriée. Si la station de base transfère la trame de la région filaire à la région hertzienne ou vice versa, une conversion de protocole peut être nécessaire et l'opération précitée sera réalisée dans le cadre de ce processus. Au moment de transmettre la trame mise en mémoire tampon, la station de base extrait une trame du tampon en fonction de l'algorithme existant puis l'envoi vers le canal. Il est utile d'appliquer le mécanisme de mise en file d'attente ou la gestion des priorités si l'on veut obtenir un paramètre CoS.

Les autres méthodes envisagées pour l'obtention de ce paramètre appellent un complément d'étude.

FIGURE 7

**Station BS d'un système AHF avec fonction de pont**

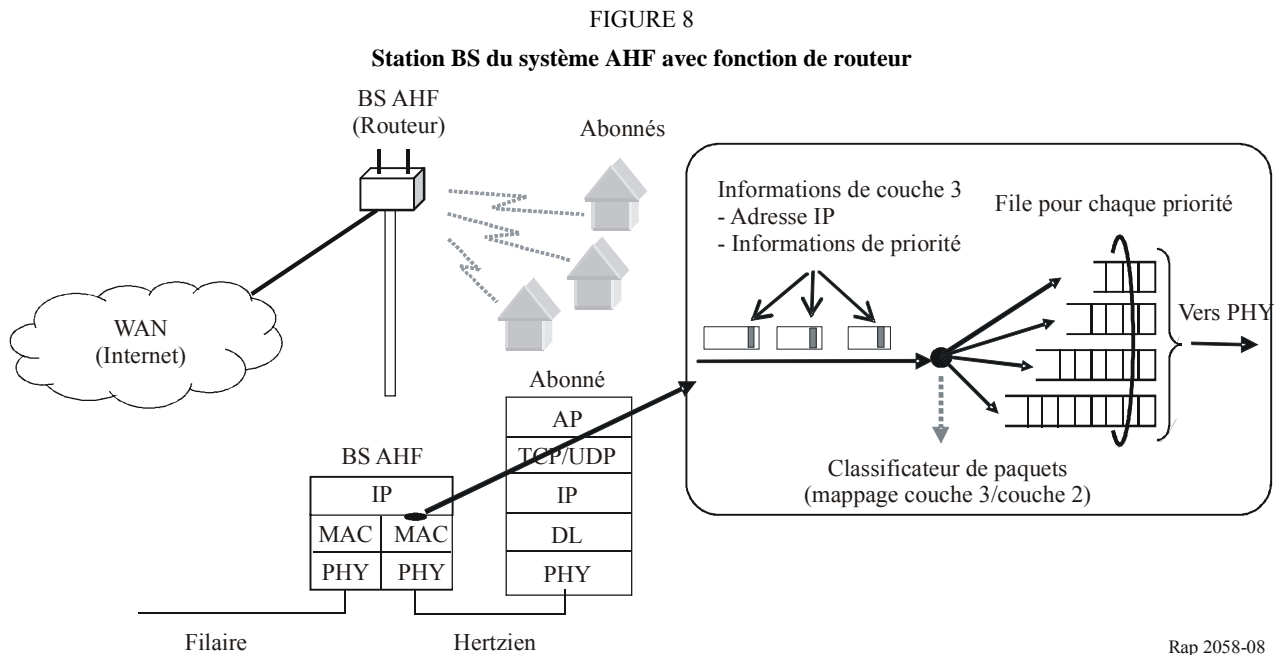


BS: Station de base

Rap 2058-07

### 3.3.4.2 La station de base AHF est un routeur

Dans ce cas précis, pour le contrôle de la CoS on se reportera à l'exemple décrit sur la Fig. 8. En pareil cas, la station de base doit traiter les informations de priorité entre les différentes couches, c'est-à-dire les couches 3 et 2. Il arrive souvent d'utiliser la méthode de signalisation aval pour distinguer le paquet de haute priorité des paquets ordinaires «au mieux». Les informations de priorité sont alors écrites dans l'en-tête du paquet. On suppose qu'une station de base AHF possède une fonctionnalité de desserte prioritaire dans la couche MAC et le mappage de la classe de service dans la couche 3 et de la priorité dans la couche 2 est réalisé.



### 3.3.4.3 Terminaux d'abonné

Un terminal d'abonné du système AHF nécessitera des mécanismes de contrôle de la CoS.

Lorsqu'elle reçoit une trame de données, la couche MAC du terminal d'abonné doit comprendre les informations de priorité véhiculées dans la trame et les passer à la couche supérieure. Si l'abonné souhaite envoyer des données de haute priorité, il faut que la couche MAC du terminal détermine les informations de priorité de la trame.

Lorsqu'un terminal d'abonné est l'initiateur des données de haute priorité, il peut être tenu de posséder la fonctionnalité nécessaire pour négocier avec le serveur de politiques, le routeur ou la station de base, afin de réserver la largeur de bande nécessaire aux données.

## 4 Mécanisme de contrôle de la CoS des systèmes AHF utilisant un système de commande décentralisée

### 4.1 Extension du protocole AMDP/AC pour la prise en charge du contrôle de la CoS

Dans l'environnement LAN, les méthodes fondées sur l'accès AMDP sont très répandues comme mécanisme MAC décentralisé. Le système LAN hertzien conforme à la norme IEEE 802.11 utilise le protocole AMDP/AC comme principale méthode d'accès. Ce protocole offre aux stations la même possibilité de transmettre des données et la priorité des données n'est pas prise en considération. Pour la prise en charge du contrôle de la CoS, il faut modifier le protocole

AMDP/AC afin de différencier les services en tenant compte de la priorité de transmettre des données. La priorité des données est établie en modifiant la procédure de ralentissement du protocole AMDP/AC. On trouvera dans les paragraphes qui suivent une brève description des versions initiale et modifiée du protocole AMDP/AC.

#### 4.2 Protocole AMDP/AC initial

Dans le protocole AMDP/AC, la station de base et les abonnés observent en permanence le canal pour voir s'il est disponible. Le canal est libre si la station ne détecte aucun signal pendant un intervalle de temps spécifié ou espace DIFS.

Lorsque les données parviennent dans une station, celle-ci les transmet immédiatement si le canal est déclaré libre. Si le canal est occupé au moment de l'arrivée des données, la station applique une procédure de ralentissement dès que le canal se libère, afin d'éviter les collisions. Dans cette procédure, une station prête à émettre des données génère un temps de ralentissement aléatoire avant la transmission en produisant un nombre aléatoire  $N$  parmi une gamme de valeurs déterminée. La station commence alors à diminuer le temps de ralentissement. Le nombre aléatoire est réduit à chaque période appelée «intervalle de temps». La station déclenche la transmission de la trame lorsque le temps de ralentissement est égal à zéro. Si le canal est de nouveau occupé avant que le nombre atteigne zéro, la station cesse de réduire le temps de ralentissement et attend que le canal se libère. Dès lors que le canal est de nouveau libre, la station recommence à réduire le solde de son temps de ralentissement.

Une station qui a reçu correctement une trame de données envoie un accusé de réception (ACK) à l'expéditeur dans un délai spécifié appelé SIFS. Si l'expéditeur ne reçoit pas d'ACK dans un délai spécifié, il retransmet la trame de données précédente.

#### 4.3 Protocole AMDP/AC modifié pour la différenciation des services

Dans ce protocole, on suppose qu'une station de base dispose d'au moins deux files pour le trafic «au mieux». Chaque file possède sa propre priorité pour la transmission des données et la priorité correspond à la classe de service. Dans l'algorithme du protocole AMDP/AC modifié, on suppose qu'il existe deux classes de service pour la transmission «au mieux». La classe de service ayant la priorité la plus élevée pour transmettre les données est appelée classe de haute priorité alors que celle qui a une faible priorité est appelée classe de faible priorité.

Pour pouvoir différencier les services, on modifie l'algorithme de ralentissement du protocole AMDP/AC (voir la Fig. 9). Dans ce protocole modifié, les stations utilisent des intervalles de temps différents selon la classe de service. Sur la Fig. 9, l'échange de données est réalisé dans la classe de haute priorité entre la station de base et l'abonné 1 et la valeur de l'intervalle de temps que ces stations utilisent dans l'algorithme de ralentissement est mise sur  $T_A$ . De la même manière, la station de base et l'abonné 2 échangent des données entre eux dans la classe de faible priorité et la valeur de l'intervalle de temps est mise sur  $T_B$ . Comme sur la Fig. 9,  $T_A$  est plus petit que  $T_B$ . Lorsqu'on utilise des valeurs d'intervalle de temps différentes, les données de haute priorité ont tendance à être transmises plus souvent que les données de faible priorité. De ce fait, la priorité de la classe de service est indiquée par le nombre de tentatives de transmission par classe de service.

La station de base possède deux files de transmission correspondant à la classe de service des données. Elle applique la procédure AMDP/AC indépendamment pour chaque file de transmission. Une station d'abonné transmet des données dans la classe de service spécifiée par la station de base. On obtient ainsi une différenciation des services en fonction de la classe de service.

#### 4.4 Contrôle de la CoS fondé sur la fonction EDCF dans un système AHF

##### 4.4.1 Fonction DCF traditionnelle

Dans les systèmes hertziens de la norme IEEE 802.11, la procédure d'accès au canal de base est une fonction de coordination décentralisée (DCF) connue sous le nom d'accès AMDP/AC (voir la Fig. 10). Le protocole AMDP/AC offre la même possibilité de transmettre des données pour les stations qui sont prêtes à le faire et la priorité des données n'est pas prise en considération. Dans le protocole AMDP/AC, les trames sont transmises d'une manière décentralisée.

Une station qui s'apprête à envoyer des données commence par chercher un canal avant l'émission proprement dite. Le canal est considéré comme étant libre si aucune porteuse n'est détectée pendant plus d'un espace DIFS. La station commence à émettre immédiatement si le canal est libre. S'il ne l'est pas, elle déclenche la procédure de ralentissement une fois que le canal se libère et génère un nombre aléatoire pour la temporisation de ralentissement. Si le canal continue d'être libre, la station réduit la temporisation de ralentissement à intervalles spécifiés, appelés «intervalles de temps» dans la fenêtre de contention (CW) et transmet les données lorsque la temporisation de ralentissement atteint la valeur 0.

Une station qui reçoit une trame avec succès renvoie un accusé de réception (ACK) à l'expéditeur pendant un espace SIFS après réception. L'expéditeur de trames de données retransmet la trame si l'ACK n'est pas renvoyé dans un délai spécifié.

FIGURE 9

##### Différenciation des services moyennant l'utilisation de l'accès AMDP/AC et transmission par ordre de priorité

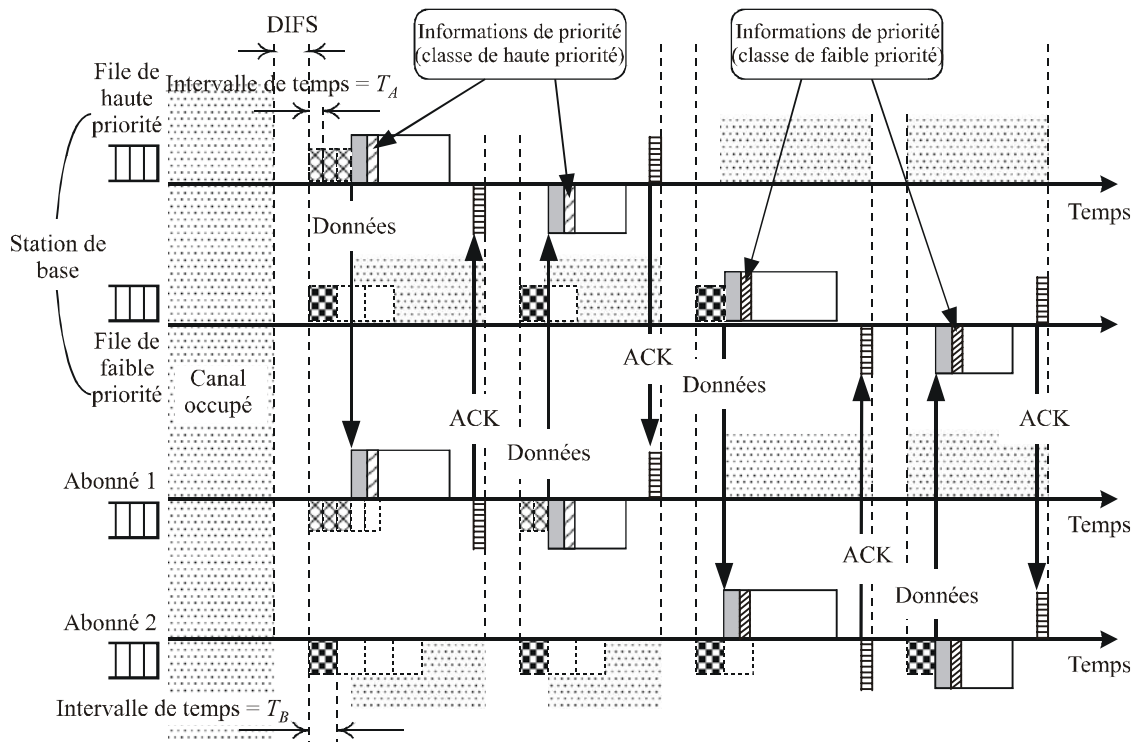
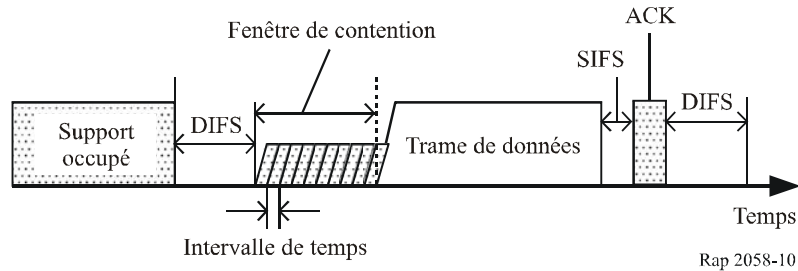


FIGURE 10  
Exemple de canal IEEE 802.11

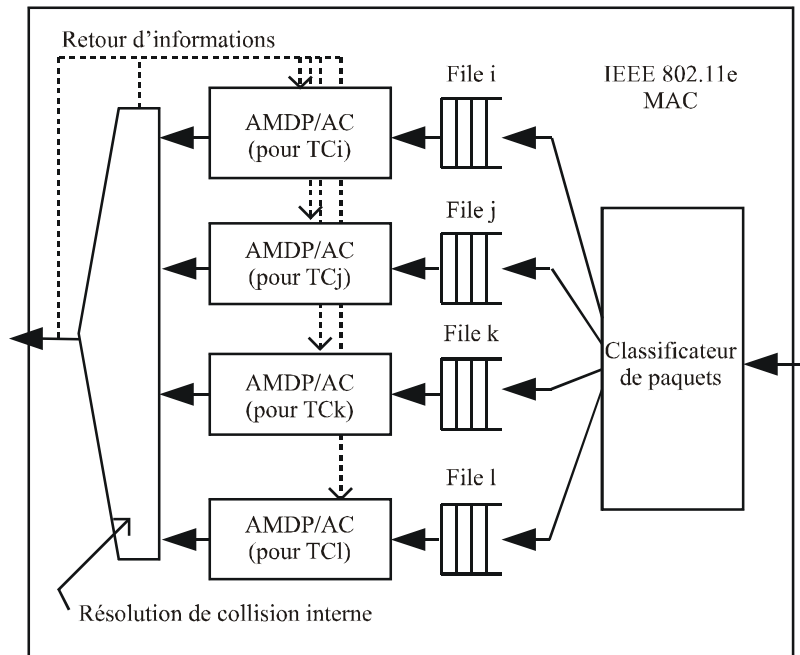


Rap 2058-10

#### 4.4.2 Fonction de coordination décentralisée améliorée (EDCF)

La fonction EDCF est le mécanisme d'accès AMDP/AC modifié. Dans cette fonction, les trames de données sont classées en huit catégories de trafic (TC) tout au plus, le nombre de catégories TC correspondant à celui qui est défini dans l'Annexe H de la norme IEEE 802.1D. La Fig. 11 représente la structure IEEE 802.11TGe MAC. Les stations EDCF possèdent, tout au plus, huit files de sortie prioritaires, une par catégorie TC. Lorsqu'une station EDCF commence à envoyer la trame de données, certaines files de sortie rivalisent entre elles pour transmettre une trame de données à l'aide de la procédure EDCF. Le protocole EDCF assure un accès AMDP/AC différencié au support hertzien pour les files de sortie prioritaires et différencie les services selon la priorité de la trame de données. Dans cette fonction EDCF, la différenciation des services est possible grâce à l'application des deux méthodes de commande de priorité décrites ci-dessous.

FIGURE 11  
IEEE 802.11e MAC



Rap 2058-11

#### 4.4.3 Algorithme de ralentissement

La procédure de ralentissement se fonde sur l'algorithme de ralentissement binaire. Le temps de ralentissement est égal à l'intervalle de temps multiplié par un nombre aléatoire. Dans la procédure de ralentissement, la station génère un nombre aléatoire à partir d'une distribution uniforme comprise entre 0 et la valeur CW. Chaque fois qu'une station retransmet la trame, la valeur CW augmente de façon séquentielle les puissances de 2, moins 1, jusqu'à ce que la fenêtre CW atteigne la valeur de CWmax. Dès que la fenêtre CW atteint la valeur CWmax, elle reste à ce niveau jusqu'à ce qu'une nouvelle valeur lui soit attribuée.

Dans la procédure EDCF, une station calcule et conserve la valeur CW pour chaque file classée par ordre de priorité, c'est-à-dire la file  $i$ :  $0 \sim CW_i$ , la file  $j$ :  $0 \sim CW_j$ . Si la priorité de la file  $i$  est supérieure à celle de la file  $j$ , la valeur de  $CW_i$  est plus petite que  $CW_j$ . Avec cette procédure, la différenciation des services est possible.

#### 4.4.4 Espace intertrames d'arbitrage (AIFS)

Dans la procédure AMDP/AC traditionnelle, le canal est considéré comme étant libre si aucune porteuse n'est détectée pendant un espace plus long que l'espace DIFS. La procédure EDCF utilise l'espace AIFS au lieu de l'espace DIFS comme cela est indiqué à la Fig. 12. Si la priorité de la file  $i$  est supérieure à celle de la file  $j$ , l'AIFS[ $i$ ] est plus court que l'AIFS[ $j$ ]. Avec cette procédure, la commande de priorité de certaines catégories TC est possible.

#### 4.5 Exemple de classe de service CoS (Annexe H2 de la norme IEEE 802.1D)

Dans les systèmes Ethernet, huit niveaux de qualité de service sont examinés dans l'Annexe H2 de la norme IEEE 802.1D et chaque qualité de service correspond à une priorité d'utilisateur. Les informations relatives à la priorité d'utilisateur figurent dans le champ d'en-tête élargi d'une trame MAC. Ce système prend en charge aussi bien les classes CoS établies par ordre de priorité que les classes CoS paramétrées. Tout comme dans le Tableau 3, les priorités d'utilisateur 4, 5 et 6 sont des classes CoS paramétrées, les autres étant des classes CoS établies par ordre de priorité.

FIGURE 12

Mécanisme de commande de priorité avec utilisation de l'espace AIFS

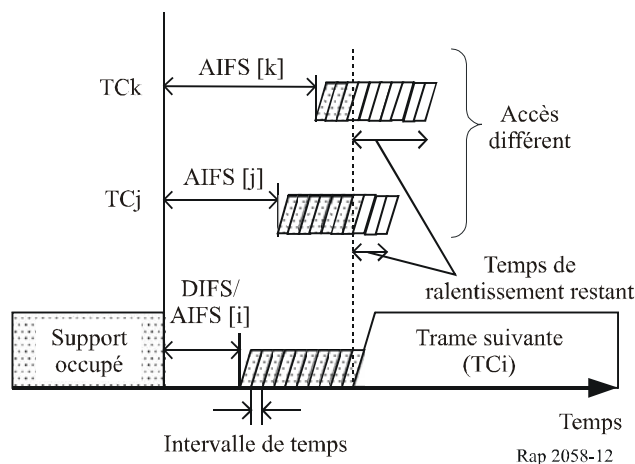




TABLEAU 3

**Priorité d'utilisateur et types de trafic dans les LAN de la norme IEEE 802**

<b>Priorité d'utilisateur</b>	<b>Type de trafic</b>	<b>Description</b>
1	De base (BK)	Transferts de masse et autres activités autorisés sur le réseau mais ne devant pas influencer sur l'utilisation du réseau par d'autres utilisateurs et applications
2	Réservé	
0 (valeur par défaut)	«Au mieux» (BE)	Trafic du réseau LAN, tel qu'il existe actuellement
3	Excellent effort (EE)	Services du type «au mieux» qu'une organisation de services d'information offrirait à ses clients les plus importants
4	Charge contrôlée (CL)	D'importantes applications d'affaires tributaires d'une certaine forme de «contrôle d'admission» constituent une phase préliminaire à une extrémité du réseau par rapport à la réservation de largeur de bande par flux au moment où le flux démarre à l'autre extrémité
5	Vidéo (VI)	Temps de transmission inférieur à 100 ms
6	Voix (VO)	Temps de transmission inférieur à 10 ms et donc gigue maximale. (Transmission dans un seul sens.)
7	Commande du réseau (NC)	Maintien et appui de l'infrastructure du réseau

De nombreux produits présents sur le marché offrent ce mécanisme en proposant un mécanisme de desserte prioritaire tel que la gestion équitable pondérée (WFQ) ou la pondération comparative (WRR).

L'Annexe H2 de la norme IEEE 802.1D fait référence à un mécanisme de correspondance entre les types de trafic et les classes de trafic en fonction du nombre de files que possède un dispositif. Le système de correspondance décrit dans cette norme est indiqué au Tableau 4.

TABLEAU 4

**Correspondance entre le type de trafic et la classe de trafic**

<b>Nombre de files</b>	<b>Types de trafic</b>
1	{BK, BE, EE, CL, VI, VO, NC}
2	{BK, BE, EE}, {CL, VI, VO, NC}
3	{BK, BE, EE}, {CL, VI}, {VO, NC}
4	{BK}, {BE, EE}, {CL, VI}, {VO, NC}
5	{BK}, {BE, EE}, {CL}, {VI}, {VO, NC}
6	{BK}, {BE}, {EE}, {CL}, {VI}, {VO, NC}
7	{BK}, {BE}, {EE}, {CL}, {VI}, {VO}, {NC}

## 5 Mécanisme de commande centralisée pour les systèmes AHF

### 5.1 Introduction

Le contrôle de la QoS est devenu récemment une technologie majeure pour assurer le trafic multimédia dans les réseaux IP. Il permet à un système d'offrir différents niveaux de qualité de communication en fonction des besoins de l'utilisateur. Le système a besoin de mécanismes complexes comme la réservation/attribution de largeur de bande, le contrôle d'admission, la gestion de politique et le courtage en largeur de bande pour obtenir ce paramètre de QoS.

Le système centralisé est approprié à cet égard avec la fonction de programmation d'assignation de la largeur de bande qu'il possède dans une station de base.

La largeur de bande est assignée en fonction d'applications comme le téléphone, le courrier électronique, la vidéo, etc. Puisque leurs besoins en termes de largeur de bande et de temps de transfert sont différents, la station de base établit trois classes de QoS. Le § 5.2 donne un exemple de spécification de la classe QoS dans les systèmes hertziens. Le § 5.3 décrit une fonction de programmation d'assignation de la largeur de bande dans la station de base.

### 5.2 Exemple de classe QoS dans un système hertzien

Le Tableau 5 contient un exemple de classe QoS dans un système hertzien à commande centralisée.

TABLEAU 5

Exemple de classe QoS dans des systèmes hertziens à commande centralisée

Classe de QoS	CBR/GBR/UBR	ARQ	Exemple de service
1	GBR ou UBR	Avec	Courrier électronique, FTP
2	CBR	Avec	Image
3	CBR	Non	Téléphone, image en temps réel

La classe 1 offre un service à débit binaire garanti (GBR) ou à débit non spécifié (UBR) qui garantit l'assignation d'une largeur de bande minimale à une station d'abonné, parallèlement avec une communication «au mieux». Cette classe permet d'assurer qu'une largeur de bande minimale spécifiée est disponible même s'il peut arriver de combiner le trafic de nombreux utilisateurs.

Les classes 2 et 3 offrent un service CBR en fonction de la déclaration de l'utilisateur. Ces classes sont indiquées pour la réception des services d'imagerie en temps réel. La classe 3 n'utilise pas la demande ARQ afin de minimiser le temps de transfert de données.

### 5.3 Calcul de la largeur de bande effective des différents services

Sachant que les différents services varient en fonction de leur nature, qui correspond à différents besoins de largeur de bande, le système devrait pouvoir distinguer les classes de service différentes et arrêter les méthodes d'assignation de largeur de bande pour chaque service. Une telle méthode est décrite en détail ci-après. Premièrement, les services devraient être triés en plusieurs sortes selon leurs attributs: temps de transfert ou priorité. Deuxièmement, et cela vaut pour chaque type de service, une équation correspondante serait appliquée afin de calculer sa largeur de bande effective, c'est-à-dire l'exigence de QoS des services. Enfin, le système assignerait la largeur de bande obtenue à chaque type de service. De cette manière, la QoS des services pourrait être obtenue dans un système AHF centralisé.

L'une des caractéristiques types du trafic de données par paquets est sa sporadicité et la largeur de bande effective définie ici caractérise la quantité générale de ressources qu'utilise le trafic de données par paquets. En outre, il faut aussi spécifier la largeur de bande moyenne et la largeur de bande maximale. Puisque les données d'un certain type de service sont transférées, il faut que le système règle de manière dynamique la largeur de bande pour la transmission puis évalue la qualité de transmission avec certains paramètres comme le temps de transfert, le TEB, etc. Par ailleurs, le jugement subjectif de l'utilisateur devrait figurer parmi les critères à retenir pour l'obtention d'une largeur de bande moyenne. Si les données reçues sont tout juste acceptables, la largeur de bande requise à ce stade est égale à la largeur de bande moyenne. Si aucune amélioration significative de la qualité ne peut être obtenue parallèlement à une augmentation de la largeur de bande, la largeur de bande correspondante est la largeur de bande maximale.

La nature sporadique des données par paquets peut occasionner des pertes éventuelles pendant des surcharges temporaires. Par conséquent, la station de base devrait réserver le plus de ressources possible pour obtenir la meilleure performance. En revanche, les opérateurs devraient souhaiter une utilisation efficace des ressources disponibles et éviter d'attribuer une largeur trop importante à un seul utilisateur. Afin d'utiliser plus efficacement les ressources, une méthode de calcul de la largeur de bande effective a été proposée dans la suite du texte et elle est illustrée par quatre exemples de services différents.

#### *Service conversationnel*

Les qualités de base de cette classe de service sont les suivantes: faible temps de transfert, gigue faible (variation du temps de transfert), clarté raisonnable et absence d'écho. Dans le cas des applications multimédias, il faut aussi maintenir une relation temporelle relative entre les différents flux de médias.

En tant que service CBR, son débit maximal est le même que le débit moyen et sa largeur de bande effective devrait être calculée de la manière indiquée dans l'équation suivante:

$$\text{Largeur de bande}_{\text{effective}} = Th_{\text{moyenne}} + \varphi * (TH_{\text{max}} - TH_{\text{moyenne}}) \quad (1)$$

où:

- Largeur de bande*<sub>effective</sub>: largeur de bande effective du service
- Th*<sub>moyenne</sub>: largeur de bande moyenne du service
- TH*<sub>max</sub>: largeur de bande maximale du service.

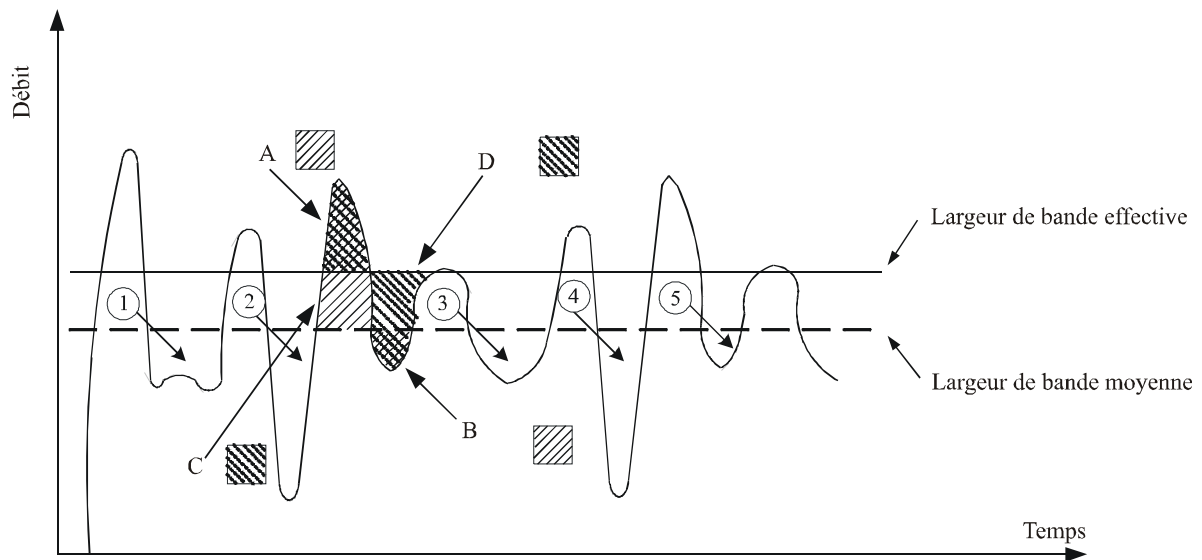
La valeur  $\varphi$ , comprise entre 0 et 1, est liée à l'exigence de temps de transfert du service et elle est fixée par l'opérateur. Plus le temps de transfert admissible est faible (valeur négociée) ou plus les salves de trafic sont fréquentes, plus la valeur de  $\varphi$  doit être grande, ce qui signifie qu'il faut davantage de ressources réservées et qu'il est possible d'obtenir une meilleure fiabilité de QoS. Autrement dit, on obtient une fiabilité élevée en sacrifiant le nombre d'utilisateurs admis au même moment. Il est évident que si le débit moyen requis est égal au débit maximal, la valeur  $\varphi$  n'est plus utilisée comme dans un service conversationnel et l'équation (1) peut être simplifiée comme indiqué dans l'équation (2).

$$\text{Largeur de bande}_{\text{effective}} = Th_{\text{moyenne}} = TH_{\text{max}} \quad (2)$$

Le choix d'une valeur appropriée de  $\varphi$  est examinée plus en détail ci-après. Comme cela est indiqué sur la Fig. 13, le trafic de données par paquets est caractérisé par sa sporadicité et son caractère aléatoire. Si le débit moyen est réglé sur la largeur de bande effective, une grande partie des données peut être transmise, pendant un intervalle de temps suffisamment bref, même si le débit

transitoire est supérieur à la largeur de bande effective. Toutefois, les crêtes 1 et 5 ne pourraient être envoyées à temps et entraîneraient un encombrement ou seraient rejetées, ce qui affecterait la performance du système. Par conséquent, dans ce cas, il convient de choisir une largeur de bande effective plus grande que la largeur de bande moyenne pour les services caractérisés par une sporadicité fréquente ou une haute priorité.

FIGURE 13  
Largeur de bande effective et largeur de bande moyenne



Rap 2058-13

### Service de transmission en continu

Cette classe de service comprend des applications en temps réel qui envoient des informations à un téléspectateur ou à un auditeur mais sans obtenir aucune réponse humaine. Exemples: vidéo à la demande, diffusion en continu de nouvelles et multidiffusion.

En l'absence d'interaction, la nécessité d'un faible temps de transfert ne s'impose plus, alors qu'il reste nécessaire d'avoir une gigue faible et une synchronisation des supports. A la différence du service vocal, le service de transmission en continu n'est pas un service CBR et son débit maximal est en général supérieur à son débit moyen. La largeur de bande effective de ce service devrait être calculée comme indiqué dans l'équation qui suit:

$$\text{Largeur de bande}_{\text{effective}} = Th_{\text{moyenne}} + \varphi * (TH_{\text{max}} - TH_{\text{moyenne}}) \quad (3)$$

Les paramètres de l'équation (3) sont les mêmes que ceux de l'équation (1). Le débit d'un tel service ne varie pas d'une façon telle que la valeur de  $\varphi$  puisse être déterminée essentiellement en fonction de la classe de priorité.

Pour différentes valeurs de  $\varphi$ , l'équation (3) peut être simplifiée comme suit:

$$\text{Largeur de bande}_{\text{effective}} = Th_{\text{moyenne}} \quad \text{pour } \varphi = 0 \quad (4)$$

$$Th_{\text{moyenne}} < \text{Largeur de bande}_{\text{effective}} < TH_{\text{max}} \quad \text{pour } 0 < \varphi < 1 \quad (5)$$

$$\text{Largeur de bande}_{\text{effective}} = TH_{\text{max}} \quad \text{pour } \varphi = 1 \quad (6)$$

### *Service interactif*

Cette classe de service regroupe une grande variété de services qui peuvent différer considérablement entre eux en termes de débit et de temps de transfert. Exemples: certains jeux, interrogation du système de gestion du réseau à des fins statistiques et recherche active sur le web ou dans des bases de données. On notera qu'un temps de transfert raisonnablement court est nécessaire pour les activités humaines, ce qui n'est pas le cas pour le service conversationnel.

Par conséquent, une réservation uniforme de la largeur de bande pour tous les types de services interactifs entraînerait une faible utilisation de la ressource radioélectrique. Lorsqu'on calcule la largeur de bande effective, il faut donc tenir compte d'autres facteurs comme la classe de priorité, la classe de fiabilité ainsi que la sporadicité. La largeur de bande effective des services interactifs peut alors être évaluée par l'équation suivante:

$$\text{Largeur de bande}_{\text{effective}} = \theta_1 * \theta_2 * Th_{\text{moyenne}} + \theta_1 * \theta_2 * \varphi * (TH_{\text{max}} - TH_{\text{moyenne}}) \quad (7)$$

où la valeur  $\theta_1$ , comprise entre 0 et 1, est le paramètre fondé sur la classe de priorité et la valeur  $\theta_2$ , comprise entre 0 et 1, est le paramètre fondé sur la classe de fiabilité. De surcroît, les deux valeurs ci-dessus devraient être décidées par l'opérateur.

### *Service de base*

Ces services recouvrent toutes les applications qui reçoivent des données de manière passive ou les demandent de manière active, mais sans aucune nécessité immédiate de les traiter. Le courrier électronique et le transfert de fichiers en sont des exemples.

Ces services n'étant pas sensibles au temps de transfert, plusieurs niveaux de débit moyen ou de largeur de bande effective  $R_i$  peuvent être fixés en fonction des ressources disponibles du système AHF, la valeur  $R_i$  d'un service donné pouvant ensuite être choisie selon le degré de priorité du service.

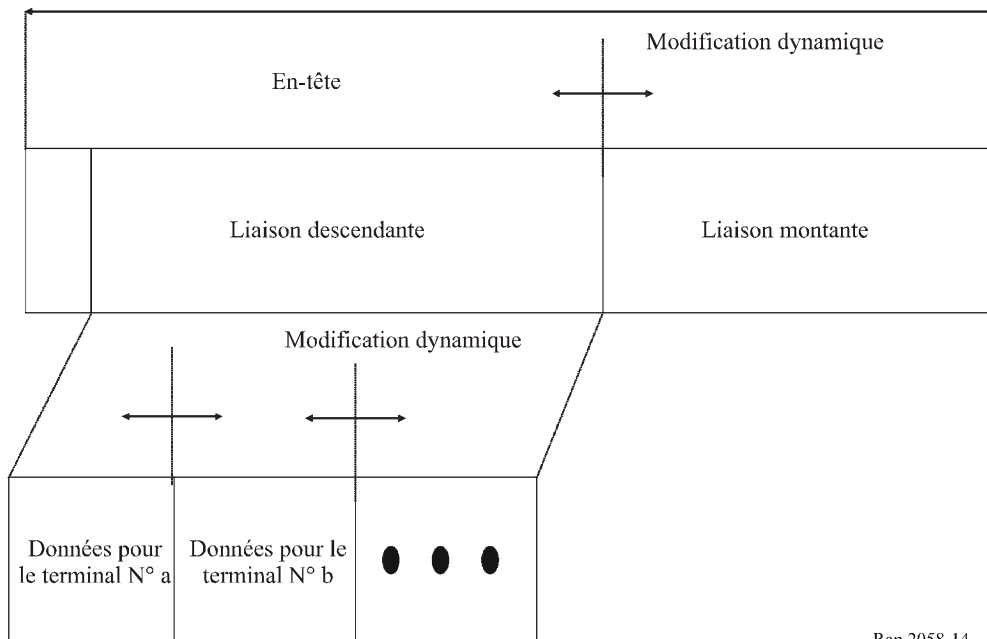
$$\text{Largeur de bande}_{\text{effective}} = \begin{cases} R_1 \text{ (Priorité 1)} \\ R_2 \text{ (Priorité 2)} \\ R_3 \text{ (Priorité 3)} \end{cases} \quad (8)$$

## **5.4 Fonction de programmation d'une assignation de largeur de bande dans la station de base**

### **5.4.1 Assignation dynamique d'intervalle (DSA)**

Une station de base à commande centralisée assigne une largeur de bande spécifique à chaque connexion entre cette station et les stations d'abonné. En réalité, la station de base assigne de manière dynamique un intervalle de temps AMRT d'une trame MAC pour que le système puisse traiter des données asymétriques entre la liaison descendante et la liaison montante ou traiter de manière adaptative le trafic de données en rafales. Cette méthode d'accès est appelée assignation DSA. Un modèle de configuration d'une trame MAC dans un système AMRT-DRT/DSA est représenté à la Fig. 14. Le rapport entre les canaux assignés aux données sur la liaison descendante et les canaux assignés aux données sur la liaison montante ainsi que canaux assignés aux données de chaque terminal varient de manière dynamique en fonction des conditions du trafic.

FIGURE 14  
 Modèle de configuration d'une trame MAC dans un système AMRT-DRT/DSA  
 Trame MAC

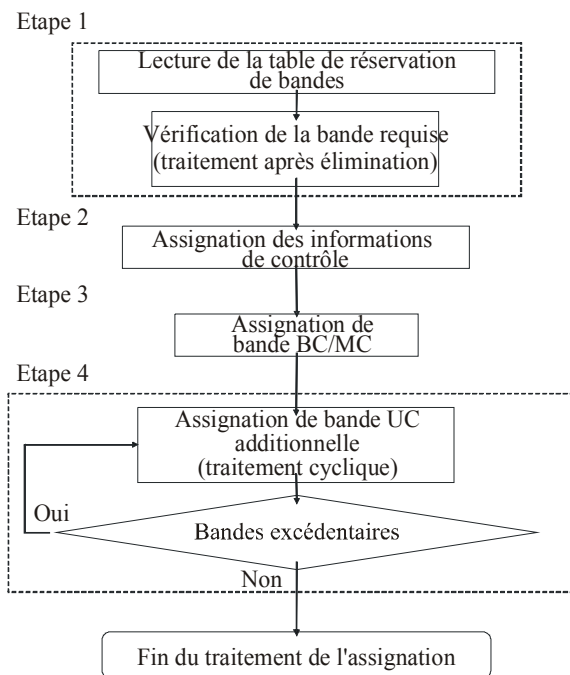


Rap 2058-14

### 5.4.2 Contrôle d'assignation de la largeur de bande par le programmeur

Dans une station de base, un programmeur assigne une largeur de bande à une connexion individuelle entre les stations d'abonné (voir les différentes étapes indiquées sur la Fig. 15).

FIGURE 15  
 Contrôle d'assignation de la largeur de bande par les informations du programmeur



Rap 2058-15

*Etape 1: Assignment de la largeur de bande réservée*

Dans la station de base, le programmeur doit introduire les informations relatives à la largeur de bande réservée dans la table de réservation à cet effet, d'après la largeur de bande requise et la classe de QoS de chaque connexion individuelle. La largeur de bande totale réservée de chaque trame est également gérée par cette table. Le programmeur assigne un nombre de canaux de données à chaque trame en fonction des informations de largeur de bande réservée communiquées par les différents terminaux d'abonné.

*Etape 2: Assignment du contrôle*

Les informations de contrôle qui sont nécessaires en vue de maintenir la connexion hertzienne doivent être envoyées aussi rapidement que possible. Pour transmettre ces informations, le programmeur dans la station de base fixe le niveau de seuil supérieur de la largeur de bande pouvant être réservée par trame pour l'envoi stable des informations de contrôle.

*Etape 3: Assignment de largeur de bande aux canaux de radiodiffusion (BC) et de multidiffusion (MC)*

S'il reste une largeur de bande excédentaire après les étapes 1 et 2, une largeur de bande est assignée aux canaux BC et MC. Au moment de configurer les connexions MC, le programmeur calcule le nombre maximal de canaux de données pouvant être assignés, selon la largeur de bande requise par connexion MC, puis assigne la largeur de bande disponible compte tenu de la limite supérieure fixée. Si le nombre de canaux de données à envoyer dépasse la limite supérieure, le programmeur suspend l'assignation de largeur de bande pendant un intervalle donné. Il peut ainsi garantir que les canaux BC ou MC ne monopolisent pas la largeur de bande.

*Etape 4: Assignment de la largeur de bande supplémentaire de chaque connexion*

Si une largeur de bande excédentaire subsiste dans chaque trame après les étapes 1 à 3, le programmeur l'assigne à tour de rôle. Cela ne dépend pas de la classe de QoS et la largeur de bande est assignée de manière égale à toutes les connexions. A ce stade, le programmeur fixe le niveau de seuil supérieur du nombre de canaux de données pouvant être disponibles pour la largeur de bande supplémentaire. Les données qui dépassent ce niveau resteront en suspens jusqu'à la prochaine assignation à tour de rôle. Cela empêche ainsi tout terminal mobile de monopoliser la largeur de bande.

## **6 Comparaison des caractéristiques de QoS dans des systèmes AHF avec commande décentralisée et avec commande centralisée**

Les deux systèmes sont comparés dans le Tableau 6.

TABLEAU 6

**Comparaison des caractéristiques de QoS dans des systèmes AHF avec commande décentralisée et avec commande centralisée**

	<b>Commande décentralisée</b>	<b>Commande centralisée</b>
Type de QoS	Au mieux	Garantie/Au mieux
Avantage	Affinité avec les systèmes Ethernet	1) Garantie de largeur de bande minimale 2) Attribution adaptative de bande
Exemples de systèmes	IEEE 802.11	ETSI-BRAN HIPERACCESS ETSI-BRAN HiperLAN ETSI-BRAN HIPERMAN MMAC-HSWA HiSWAN IEEE 802.16-2004

## Annexe 2

### Exemples de calcul du retard moyen dû au protocole d'accès et de sa variation dans des systèmes AHF utilisant l'accès AMDP/AC

#### 1 Introduction

La présente annexe vise à décrire une méthode théorique permettant d'évaluer le retard dû au protocole d'accès des RLAN utilisant une technique AMDP/AC authentique (c'est-à-dire sans contrôle d'accès amélioré comme la fonction de coordination hybride (HCF) ou l'accès des canaux en mode contention pour assurer la fonction intégrale de QoS). On y trouvera aussi des exemples de résultats de calculs obtenus avec des flux de paquets courts et des flux de paquets longs.

#### 2 Approximations

Le débit par station ( $S_m$ ) ainsi que le retard dû au protocole d'accès ( $\overline{T}_m$ ) s'obtiennent comme suit:

$$S_m = \frac{L_{ip} \times 8}{\overline{T}_m + SIFS + T_a} \quad (9)$$

$$\overline{T}_m = \sum_{n=0}^{\infty} (1-p_m) p_m^n (A + nB) = A + B \frac{p_m}{1-p_m} \quad (10)$$

où:

- $m$ : nombre de stations cherchant à envoyer des paquets
- $L_{ip}$ : longueur des paquets IP (octets)
- $T_d$ : longueur de trame de données
- $T_a$ : longueur de trame Ack.



Pour obtenir les approximations ci-dessus (9) et (10), on suppose ce qui suit:

- Lorsque le canal est occupé, n'importe quel nombre aléatoire est créé dans la même fenêtre de contention ( $CW_{min}$ ) et la temporisation de ralentissement redémarre.
- Lorsque le paquet transmis entre en collision avec d'autres paquets envoyés par d'autres stations, n'importe quel nombre aléatoire est créé dans la même fenêtre de contention  $CW_{min}$  et réglé sur la temporisation de ralentissement. En l'occurrence, le ralentissement BEB n'est pas pris en considération.

Les § 3 et 4 qui suivent donnent des exemples de résultats de calcul concernant le retard dû au protocole d'accès AMDP/AC (mode 54M, 24M et 6M) et AMDP/AC (11M, préambule long).

### 3 Exemples de calcul du temps de propagation des paquets dans des flux de paquets courts

En supposant que de nombreuses stations d'abonné essaient d'envoyer simultanément des paquets homogènes courts comme les paquets VoIP, on calcule les temps de transmission des paquets. Les valeurs utilisées pour les paramètres sont indiquées dans le Tableau 7.

La valeur escomptée du retard moyen dû au protocole d'accès ( $\overline{T}_m$ ) est représentée sur la Fig. 16.  $\overline{T}_m$  dépend du mode de transmission et du nombre de stations cherchant à envoyer simultanément des paquets,  $m$ . Dans ce cas, il convient de mentionner que le résultat indiqué à la Fig. 16 ne tient pas compte du ralentissement BEB au moment où des collisions se produisent. Pour cette raison, les valeurs effectives de  $\overline{T}_m$  connaîtront une dégradation plus grande que les valeurs calculées, surtout lorsque  $m$  est grand et que le nombre de collisions augmente.

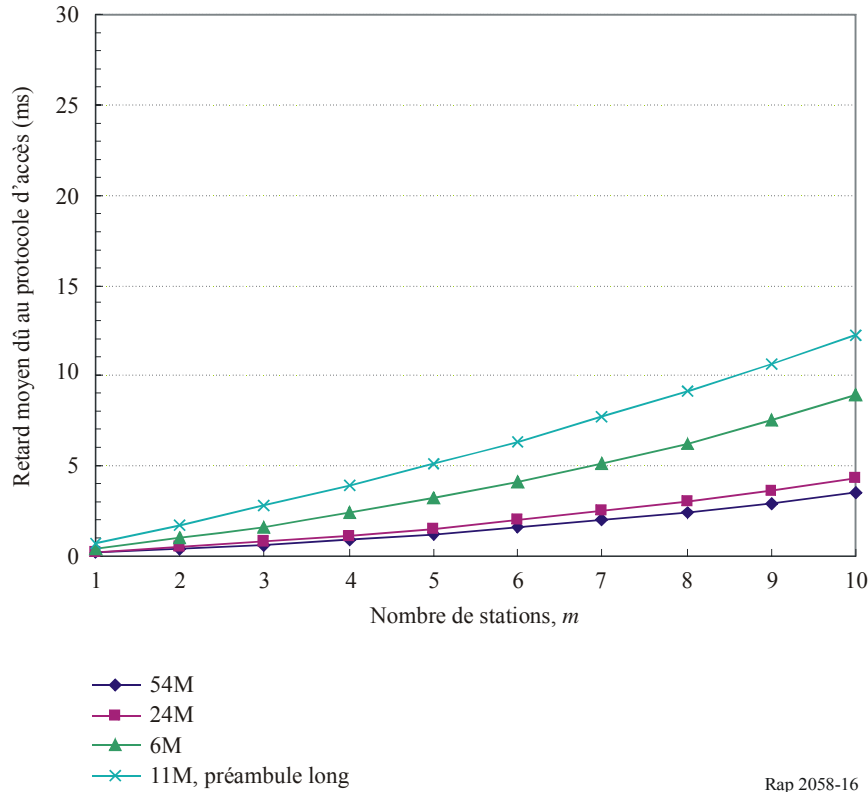
TABLEAU 7

#### Valeurs utilisées pour les paramètres

	AMDP/AC (mode 54M, 24M, 6M)	AMDP/AC (mode 11M, préambule long)
SIFS ( $\mu$ s)	16	10
DIFS ( $\mu$ s)	34	50
Intervalle de temps ( $\mu$ s)	9	20
CWmin	15	31
Longueur de paquet (octets)	200	200
Td ( $\mu$ s)	56 (54M) 100 (24M) 340 (6M)	364
Ta ( $\mu$ s)	24 (54M) 28 (24M) 44 (6M)	202
Erreur de propagation	Aucune	Aucune

FIGURE 16

Retard moyen dû au protocole d'accès AMDP/AC (mode 54M, 24M et 6M) et AMDP/AC (11M, préambule long) par rapport au nombre de stations dans des flux de paquets courts



Rap 2058-16

#### 4 Exemples de calcul du temps de propagation des paquets dans des flux de paquets longs

Les équations (9) et (10) s'appliquent lorsque chaque station cherche à envoyer des paquets de même taille. Dans ce cas, il est indispensable de s'intéresser au retard dû au protocole d'accès affectant les paquets courts de type VoIP si de nombreuses stations cherchent à envoyer des paquets longs. Si une station  $m-1$  essaie d'envoyer des paquets longs de même taille et qu'une station essaie d'envoyer simultanément un paquet court, il convient de modifier l'équation (10) pour calculer les retards. L'équation (10) modifiée est la suivante:

$$\overline{T_{m(S)}} = \sum_{n=0}^{\infty} (1-p_m) p_m^n (A_{(S)} + nB_{(L)}) = A_{(S)} + B_{(L)} \frac{p_m}{1-p_m} \quad (11)$$

où:

$\overline{T_{m(S)}}$ : Retard moyen dû au protocole d'accès pour la transmission des paquets courts

$$A_{(S)} = DIFS + CW_{min} \times \text{Intervalle de temps} / 2 + T_{d(S)}$$

$$B_{(L)} = T_{d(L)} + SIFS + T_a + DIFS + CW_{min} \times \text{Intervalle de temps} / 2$$

$m$ : nombre de stations cherchant à envoyer des paquets (=  $m_{(L)} + m_{(S)}$ )

$m_{(L)}$ : nombre de stations cherchant à envoyer des paquets longs

$m_{(S)}$ : nombre de stations cherchant à envoyer des paquets courts (= 1).

Les valeurs des paramètres utilisées pour l'équation (11) sont énumérées dans le Tableau 8. D'autres valeurs qui ne figurent pas dans le tableau sont les mêmes que celles du Tableau 7.

TABLEAU 8  
Valeurs utilisées pour les paramètres

	AMDP/AC (mode 54M, 24M, 6M)	AMDP/AC (mode 11M, préambule long)
Paquet court (octets)	200	200
Paquet long (octets)	1 500	1 500
Td (L) (μs)	248 (54M) 536 (24M) 2 072 (6M)	1 309
Td (S) (μs)	56 (54M) 100 (24M) 340 (6M)	364

La valeur escomptée du retard moyen dû au protocole d'accès ( $\overline{T_{m(S)}}$ ) pour une transmission de paquets courts est représentée sur la Fig. 17. Ce retard dépend du mode de transmission et du nombre de stations cherchant à envoyer simultanément des paquets ( $m=m(S)+m(L)$ , ici,  $m(S)=1$ ).

Par rapport à la Fig. 16, le retard dû au protocole d'accès de la Fig. 17 est plus importante car le temps d'occupation du canal par d'autres paquets est beaucoup plus grand.

Les Fig. 18 et 19 représentent par une courbe le pourcentage de temps accumulé pour le retard dû au protocole d'accès AMDP/AC (mode 54M) et AMDP/AC (mode 11M, préambule long) lorsque  $m = 3, 5$  et  $8$  respectivement. Le quantile  $1 \times 10^{-3}$  du retard dû au protocole d'accès  $T_{m(S),1e-3}$  peut être calculé comme suit:

$$T_{m(S),1e-3} \approx A_{(S)} - B_{(L)} \left( \frac{3}{\log p_m} + 1 \right) \quad (12)$$

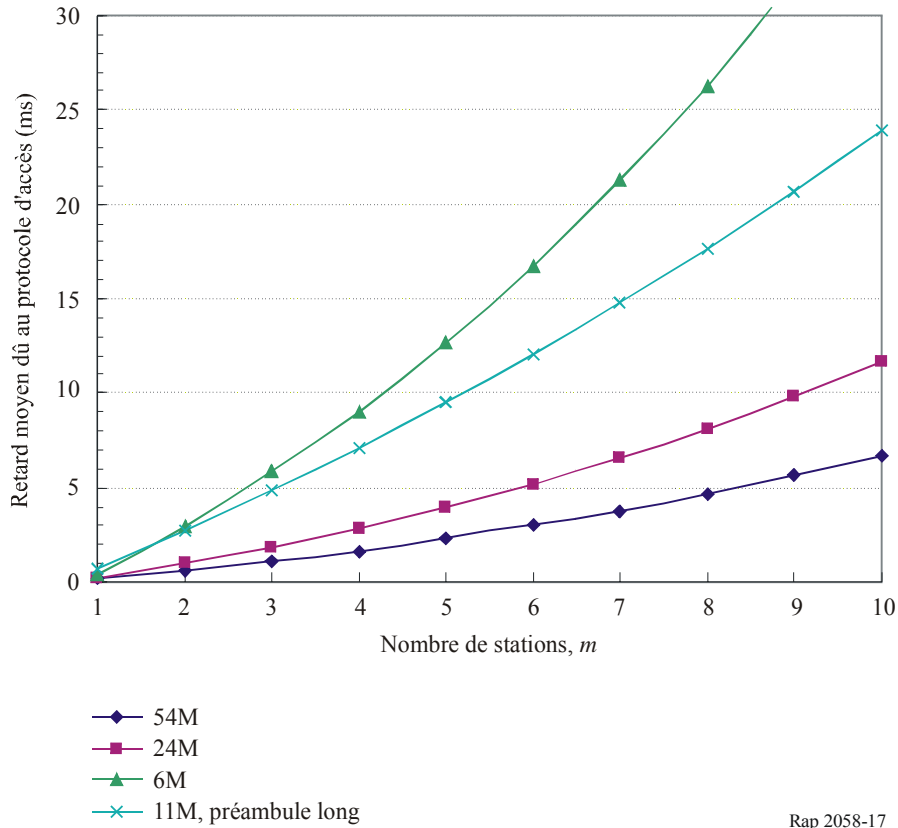
Les valeurs calculées sont énumérées au Tableau 9.

TABLEAU 9  
Quantile  $1 \times 10^{-3}$  du retard dû au protocole d'accès

Notes	AMDP/AC (mode 11M, préambule long)	AMDP/AC (mode 54M)	
$m_{(L)} = 2, m_{(S)} = 1$	33,5 ms	7,5 ms	$m = 3$
$m_{(L)} = 4, m_{(S)} = 1$	65,9 ms	15,8 ms	$m = 5$
$m_{(L)} = 7, m_{(S)} = 1$	122,1 ms	32,2 ms	$m = 8$

FIGURE 17

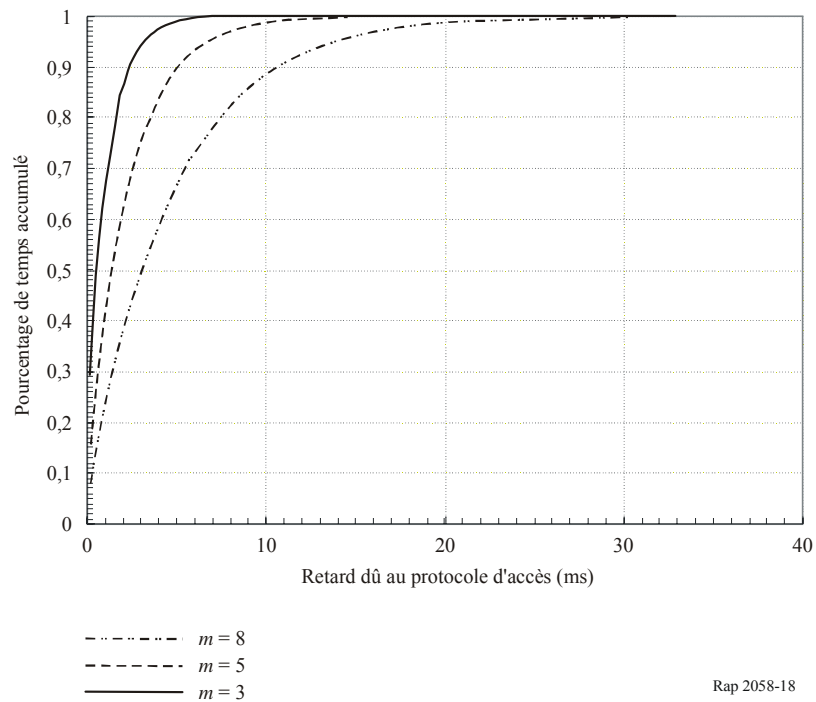
Retard moyen dû au protocole d'accès AMDP/AC (mode 54M, 24M et 6M) et AMDP/AC (11M, préambule long) par rapport au nombre de stations dans des flux de paquets longs



Rap 2058-17

FIGURE 18

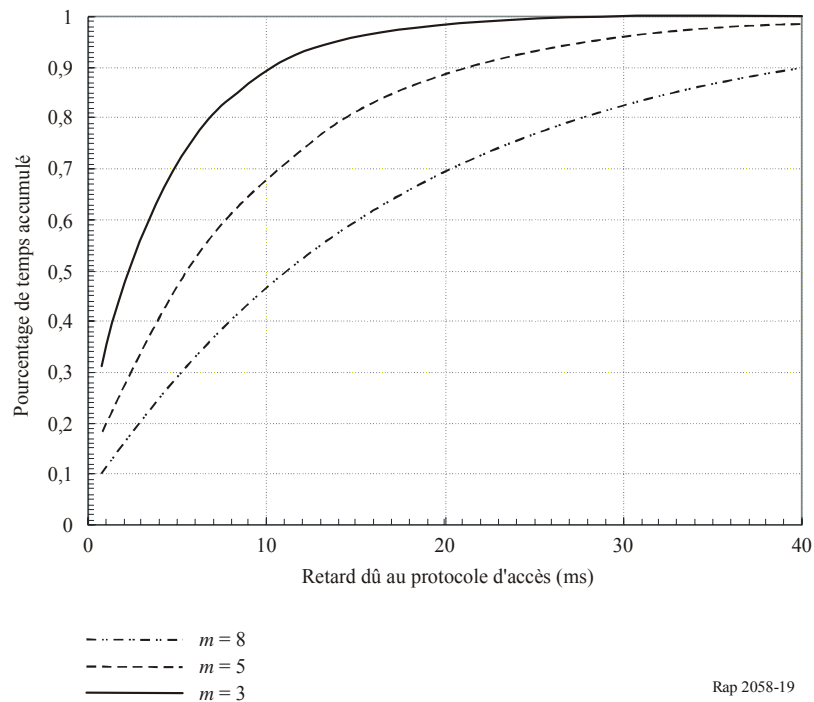
Pourcentage de temps accumulé du retard dû au protocole d'accès (AMDP/AC, mode 54M)



Rap 2058-18

FIGURE 19

Pourcentage de temps accumulé du retard dû au protocole d'accès  
(AMDP/AC, 11M, préambule long)



### Annexe 3

#### Exemples de calcul du temps d'attente supplémentaire observé dans plusieurs flux VoIP pour les systèmes AHF en mode AMRT

La présente annexe contient une estimation du temps d'attente supplémentaire possible rencontré dans plusieurs flux VoIP (voir la norme IEEE 802.16-2004).

##### 1 Services de planification en amont

Les services de planification décrits au § 1 sont conçus pour améliorer l'efficacité du processus d'interrogation/attribution. En spécifiant un service de planification et ses paramètres associés de QoS, la station de base peut anticiper les besoins en débit utile et en latence du trafic amont (montant) et fournir des interrogations sélectives et/ou des attributions aux instants appropriés.

Les services fondamentaux comprennent le service d'attribution non sollicitée (UGS), le service d'interrogation sélective en temps réel (rtPS), le service d'interrogation sélective en temps différé (nrtPS) et le service au mieux (BE). Chaque service est adapté à un type spécifique de flux de données. Le service UGS est conçu afin de prendre en charge les flux en temps réel qui produisent périodiquement des paquets de données de longueur fixe, tels que T1/E1 et le service de voix sur IP sans suppression du silence. Le service rtPS est conçu afin de prendre en charge les flux en temps réel qui produisent périodiquement des paquets de données de longueur variable comme la vidéo

MPEG. Le service nrtPS est conçu afin de prendre en charge les flux en temps différé qui nécessitent des types de salves d'attributions de données de longueur variable à titre régulier, comme un transfert FTP à grande largeur de bande. Enfin, le but visé du service au mieux est de fournir un service efficace au trafic au mieux.

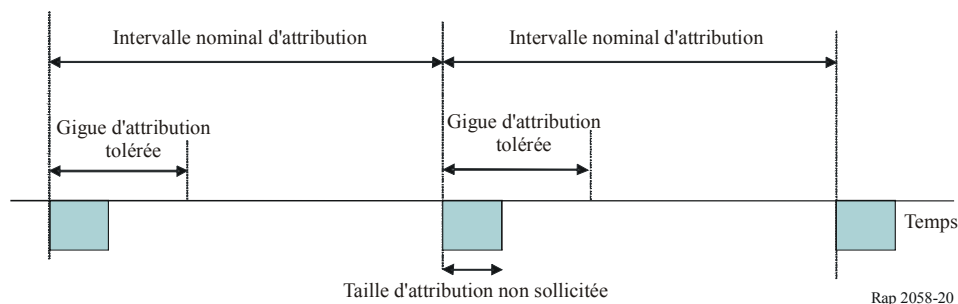
## 2 Service d'attribution non sollicitée (UGS)

Nous examinons ce service en tant que service de planification pour la transmission de paquets VoIP. Ce service offre en temps réel des attributions périodiques de longueur fixe, ce qui élimine le surdébit et la latence des demandes issues d'une station d'abonné et garantit que des attributions seront disponibles afin de répondre aux besoins en temps réel du flux. La station de base doit toujours fournir au flux de service des types de salves d'attributions de données de longueur fixe.

Ce service doit toujours être spécifié à l'aide des paramètres suivants: la longueur d'attribution non sollicitée, l'intervalle nominal d'attribution, la gigue d'attribution tolérée et la politique de demande/transmission qui sont expliqués à la Fig. 20. La gigue peut être maintenue dans les limites de la gigue d'attribution tolérée qui a été négociée pendant la procédure d'établissement de l'appel.

FIGURE 20

### Principaux paramètres pour le flux de service UGS



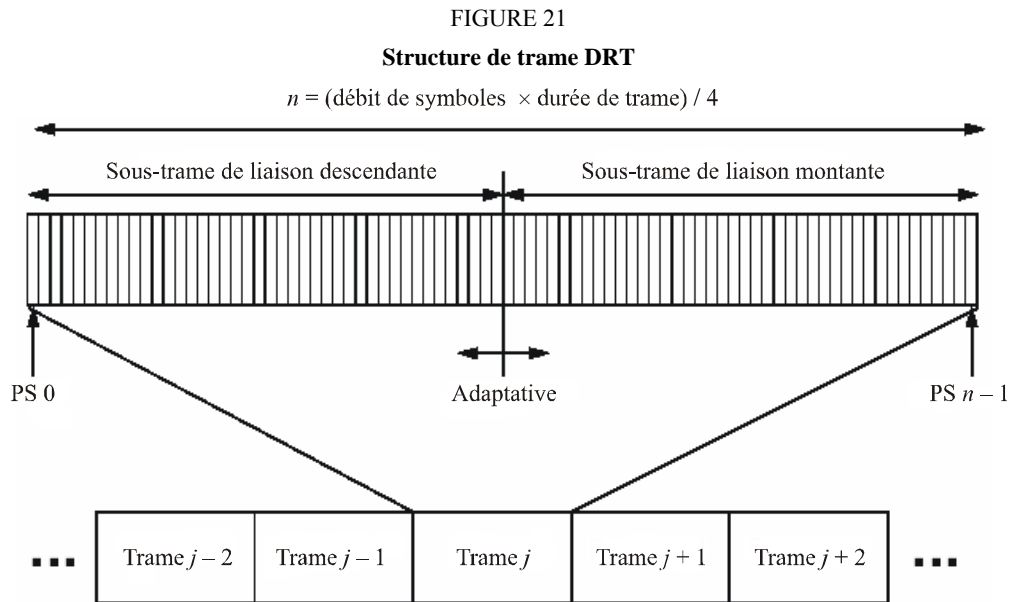
Rap 2058-20

## 3 Structure de trame

Dans l'étude qui suit, nous partons de l'hypothèse d'un duplex DRT et la Fig. 21 en indique la structure de trame. La trame a une durée fixe et contient une sous-trame de liaison descendante ainsi qu'une sous-trame de liaison montante. La taille de la trame est généralement de 1 ms. Elle est divisée en un nombre entier d'intervalles PS, ce qui permet de segmenter facilement la largeur de bande. Un intervalle PS se compose de 4 symboles dans la couche PHY. Le verrouillage de trame DRT est adaptatif en ce sens que la largeur de bande attribuée à la liaison descendante par rapport à la liaison montante peut varier. La séparation entre la liaison montante et la liaison descendante s'opère à l'aide d'un paramètre du système et elle est réglementée aux couches supérieures à l'intérieur du système. Chaque canal physique est exprimé en unités de mini-intervalles. Un mini-intervalle contient  $i$  PS, où  $i = 2^k$  et  $k$  est un nombre entier compris entre 0 et 7.

## 4 Hypothèses de calcul

Lorsque les flux VoIP sont nombreux, les paquets du nouveau flux VoIP qui doivent être envoyés devront peut-être attendre car les canaux sont occupés par les autres flux VoIP précédents. Nous calculerons, à titre d'exemple, le temps d'attente supplémentaire occasionné. Les valeurs des paramètres adoptés sont énumérées au Tableau 10.



Rap 2058-21

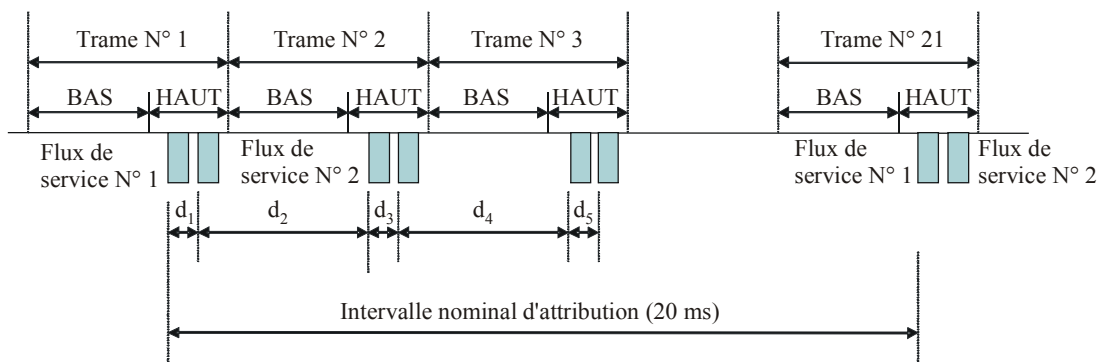
TABLEAU 10  
Valeurs des paramètres adoptés

		Note
Taille de l'unité PDU MAC	234 octets	
– Charge utile VoIP	160 octets	Conforme à la Recommandation UIT-T G.711
– En-tête TCP/IP	40 octets	
– En-tête Ether	24 octets	
– FCS	2 octets	
– PHSI	2 octets	
– En-tête MAC	6 octets	
Modulation	MDP-4	
Type de code FEC	Reed Solomon et BCC	
Type de code externe	Type 2	
Taille du mot de code externe (K+R), total	254 octets	
Type de code BCC interne	(24,16)	
Longueur de préambule	16 symboles	
Facteur de décroissance	0,25	
Taille du canal	25 MHz	
Débit de symbole	20 Mbaud	
Débit binaire	40 Mbit/s	
Durée de trame	1 ms	
Nombre de symboles dans une trame	20 000	
Nombre de mini-intervalle dans une trame	5 000	La taille d'un mini-intervalle est égale à celle d'un intervalle PS (4 symboles).

Les hypothèses ci-après ont été choisies pour les calculs.

- Tous les codeurs VoIP sont conformes à la Recommandation UIT-T G.711 (codage à 64 kbit/s). Avec des en-têtes TCP/IP, Ether, MAC, etc., la longueur des unités PDU MAC atteint au total 234 octets. Dans l'hypothèse d'un codage externe Reed Solomon et d'un code BCC interne, la longueur de salve est de 381 octets. Dans l'hypothèse d'une modulation MDP-4, la taille des symboles après mappage et adjonction d'un préambule est de 1 540 au total.
- Une modulation MDP-4 et des canaux de 25 MHz sont adoptés. Une durée de trame de 1 ms est recommandée. Par conséquent, la durée de trame compte 20 000 symboles.
- Les charges de trafic VoIP pour les liaisons montante et descendante sont essentiellement les mêmes, mais on suppose qu'une station de base gère simultanément les services rtPS, nrtPS et BE ainsi que le trafic VoIP, certains d'entre eux pouvant avoir une charge de trafic asymétrique si bien que la charge de la liaison descendante est supérieure à celle de la liaison montante (par exemple, transmission en continu MPEG). On suppose donc que le rapport longueur de sous-trame liaison montante/liaison descendante est d'environ 1:3. Dans ces conditions, le nombre de symboles attribués à la sous-trame de la liaison montante est d'environ 5 000.
- Sachant que d'autres types de services en temps réel et en temps différé sont attribués à la liaison montante, le nombre de salves VoIP attribuées à la liaison montante est d'environ 2 au maximum. La fragmentation des paquets VoIP n'est pas prise en considération.
- Des paquets VoIP sont produits à intervalles de 20 ms. Pour supprimer la gigue entre les paquets VoIP, on transmet des salves d'un flux VoIP en utilisant les mêmes positions d'intervalle de trame dans des sous-trames de la liaison montante à intervalles de 20 ms.
- Compte tenu des hypothèses susmentionnées, comme indiqué à la Fig. 22, il est possible de faire 40 attributions au maximum par flux VoIP à intervalles de 20 ms. Avec une telle attribution, on transmet une salve de liaison montante de chaque flux VoIP.

FIGURE 22  
Attribution VoIP



Rap 2058-22

- En l'absence de flux VoIP précédents, une salve de liaison montante d'un nouveau flux VoIP sera transmise à l'instant  $t_0$ , en utilisant l'attribution la plus proche sur l'axe temps. En revanche, s'il existe déjà un ou plusieurs flux VoIP et que les attributions sont réservées pour le ou les flux VoIP existants, une salve de liaison montante d'un nouveau flux VoIP ne pourra peut-être pas utiliser l'attribution la plus proche et un programmeur de station de base recherchera une attribution non réservée et l'attribuera à la station d'abonné. La station d'abonné obtient l'information provenant de UL\_MAP dans la sous-trame de la liaison



descendante et envoie la salve à l'instant  $t_1$ . Il peut parfois, en l'occurrence, se produire un temps d'attente supplémentaire ( $t_1 - t_0$ ). Ce temps d'attente est calculé plus loin.

- Nous sommes partis du principe que  $(m - 1)$  flux VoIP sont desservis. Il est donc possible de calculer par approximation le temps d'attente moyen supplémentaire survenu dans le nouveau  $m$ -ième flux VoIP  $\overline{D}_m$ .

$$\overline{D}_m \approx (N - m + 1) \cdot \frac{(m - 1)!}{N!} \cdot \sum_{j=1}^{m-1} \left\{ \sum_{i=1}^j d_i \cdot \frac{(N - j - 1)!}{(m - j - 1)!} \right\} \quad (13)$$

$1 \leq j \leq m - 1$

où:

- $N$ : Nombre maximal possible d'attributions VoIP dans un délai de 20 ms (= 40)
- $d_i$ : Différence de temps entre la  $(i - 1)$ -ième et la  $i$ -ième attribution.

En outre, pour simplifier les calculs, on suppose que:

$$d_{impai} = 0,08 \text{ ms}, d_{pair} = 0,92 \text{ ms}$$

### 5 Résultats des exemples de calcul

Les résultats des calculs de  $\overline{D}_m$ , obtenus approximativement par l'équation (13), sont indiqués à la Fig. 23, tout comme ceux des simulations. Le temps d'attente varie en fonction du nombre de flux VoIP existants. La Fig. 24 indique le pourcentage accumulé du temps d'attente qui a été calculé à l'aide de l'équation (13). Il peut parfois se produire un temps d'attente de 20 ms.

FIGURE 23

Exemple de temps d'attente moyen supplémentaire subi par un  $m$ -ième flux VoIP

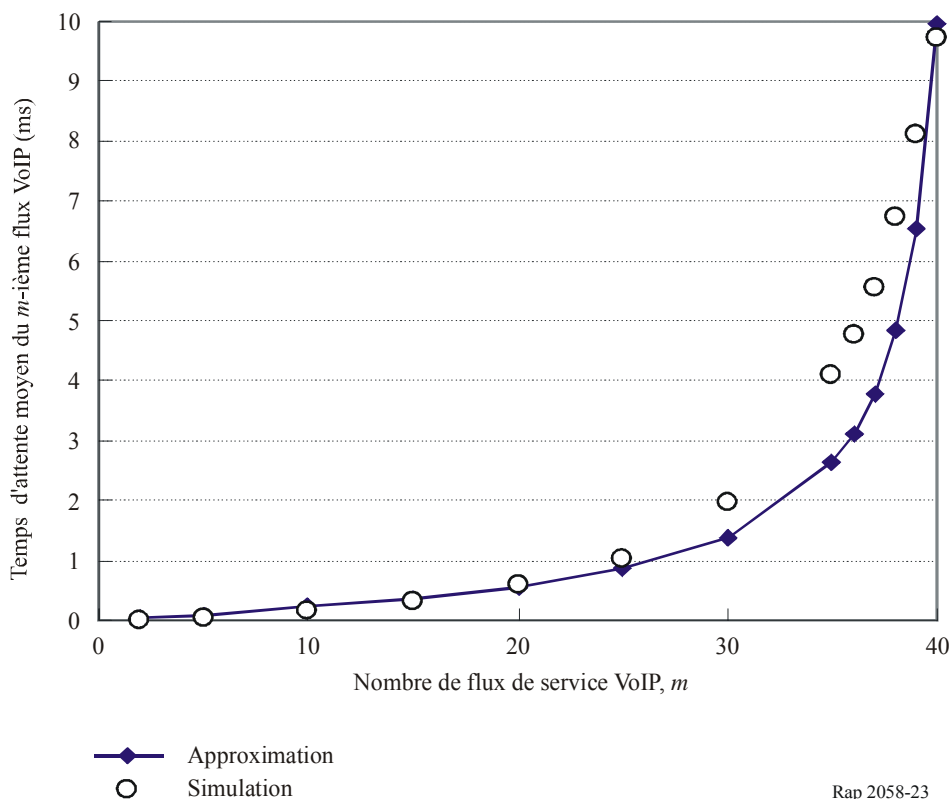
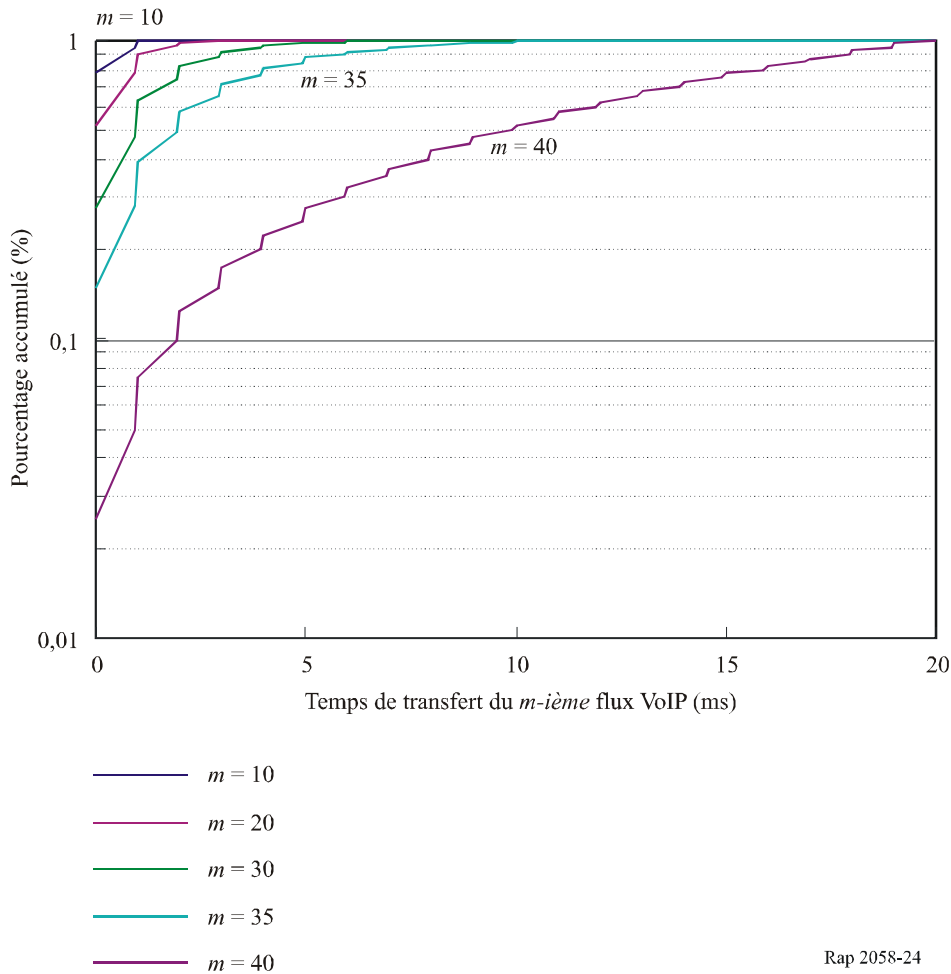


FIGURE 24

Exemple de pourcentage accumulé du temps d'attente supplémentaire subi par un  $m$ -ième flux VoIP



Selon certaines hypothèses, on a estimé qu'il était possible d'avoir un temps d'attente supplémentaire pour les paquets VoIP lorsqu'il existe plusieurs flux VoIP. Dans le cas de l'AMRT, l'algorithme de programmation est un élément essentiel pour améliorer le temps de transfert mais il sort du cadre de la norme IEEE802.16-2004. Outre cet algorithme, plusieurs facteurs: la structure de trame, les charges de trafic et la capacité peuvent entraîner une dégradation du temps IPTD.

## Annexe 4

### Exemples de calcul du temps de transfert de réseau de classe QoS 0

La présente annexe contient des exemples de calcul du temps IPTD pour toute portion de trajet prenant en charge un flux de classe de QoS 0, d'après la méthode décrite dans l'Appendice III de la Recommandation UIT-T Y.1541.

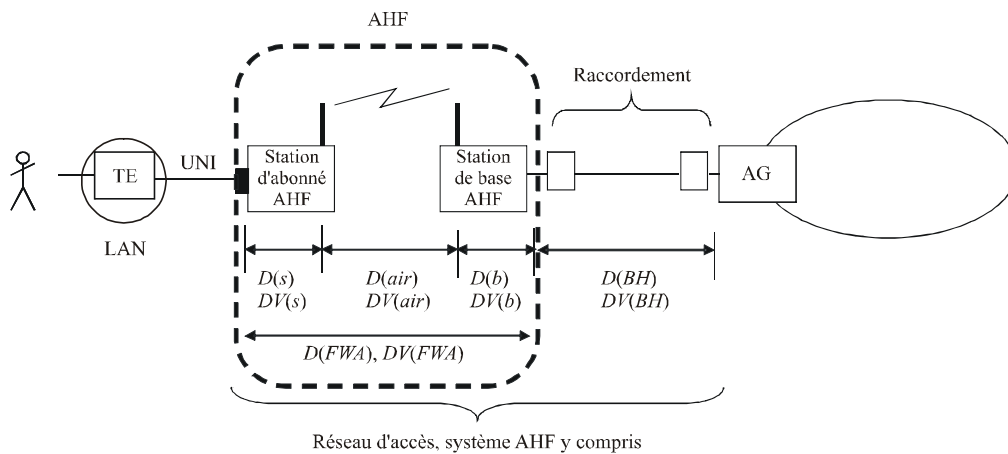
**1 Calcul du temps de transfert dans les réseaux d'accès, y compris les systèmes AHF**

Le présent paragraphe a pour objet de décrire le concept de calcul du temps de transfert dans les réseaux d'accès, y compris les systèmes AHF. La configuration du réseau d'accès, le système AHF y compris, est représentée à la Fig. 25. Le temps IPTD et la variation IPDV,  $D(AN)$  et  $DV(AN)$  dans le réseau d'accès, sont calculés comme suit:

$$\begin{aligned}
 D(AN) &= D(FWA) + D(BH) \\
 &= D(s) + D(air) + D(b) + D(BH) \\
 DV(AN) &\leq DV(FWA) + DV(BH) \\
 &= DV(s) + DV(air) + DV(b) + DV(BH)
 \end{aligned}$$

FIGURE 25

Exemple de réseau d'accès, système AHF y compris



- TE: Equipement terminal
- AG: Passerelle d'accès
- FWA: Accès hertzien fixe
- UNI: Interface utilisateur-réseau
  
- $D(FWA)$ : Temps de transfert dans la portion AHF
- $-D(s)$ : Temps de transfert dans la station d'abonné AHF
- $-D(air)$ : Temps de transfert en fonction du protocole d'accès
- $-D(b)$ : Temps de transfert dans la station de base AHF
- $D(BH)$ : Temps de transfert dans le raccordement
  
- $DV(FWA)$ : Variation du temps de transfert dans la portion AHF
- $-DV(s)$ : Variation du temps de transfert de la station d'abonné
- $-DV(air)$ : Variation du temps de transfert en fonction du protocole d'accès
- $-DV(b)$ : Variation du temps de transfert de la station de base AHF
- $DV(BH)$ : Variation du temps de transfert dans le raccordement

Rap 2058-25

Comme indiqué sur la Fig. 25, la liaison entre la station de base et la passerelle d'accès est appelée raccordement. Le raccordement fait partie du réseau d'accès et comprend un câble à fibres optiques, de type coaxial ou métallique et un autre système radioélectrique, par exemple un système hertzien fixe P-P ou P-MP. En général, le raccordement devrait être conçu de façon à avoir une capacité suffisante pour acheminer le trafic en provenance ou à destination du système AHF. Par conséquent, les valeurs IPTD et IPDV présentes dans le raccordement,  $D(BH)$  et  $DV(BH)$ , sont généralement faibles. Les équations ci-dessus sont donc modifiées comme suit:

$$\begin{aligned}
 D(AN) &\approx D(FWA) \\
 &= D(s) + D(air) + D(b)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 DV(AN) &\leq DV(FWA) \\
 &= DV(s) + DV(air) + DV(b)
 \end{aligned}$$

De plus, si le facteur dominant de  $D(FWA)$  et  $DV(FWA)$  est le protocole d'accès et que d'autres facteurs peuvent être ignorés, les termes  $D(AN)$  et  $DV(AN)$  pourront être évalués approximativement comme suit  $D(AN) \approx D(air)$  et  $DV(AN) \approx DV(air)$ .

## 2 Exemples de calcul du temps de transfert de réseau de classe QoS 0 au niveau des interfaces UNI-UNI

Conformément à la Recommandation UIT-T Y.1541, la valeur théorique du temps IPTD dans une portion de réseau IP est:

$$IPTD \text{ (ms)} \leq (R_{km} * 0,005) + (N_A * D_A) + (N_D * D_D) + (N_C * D_C) + (N_I * D_I)$$

$$R_{km} = 1,25 * D_{km}$$

Dans cette équation:

- $D_{km}$  est la distance aérienne entre deux routeurs qui limitent la portion.
- $R_{km}$  représente l'hypothèse de la longueur de trajet.
- $N_A, N_D, N_C,$  et  $N_I$  représentent respectivement le nombre de routeurs IP de passerelle d'accès, de distribution, de noyau et de passerelle d'interfonctionnement de réseaux, compatible avec l'exemple de section de réseau représenté à la Fig. III.1 de l'Appendice III de la Recommandation UIT-T Y.1541.
- $D_A, D_D, D_C,$  et  $D_I,$  représentent respectivement le temps de transfert de routeurs IP, de passerelle d'accès, de distribution, de noyau et de passerelle d'interfonctionnement de réseaux, compatible avec les valeurs définies dans le Tableau III.1 de l'Appendice III de la Recommandation ITU-T Y.1541.

La variation IPDV maximale peut être calculée de la même façon.

A titre d'exemple d'un calcul du temps de transfert interfaces UNI-UNI, on a choisi un conduit fictif de référence (HRP) représenté à la Fig. 26. Les hypothèses ci-après sont prises en considération.

- Dans deux portions d'accès, l'une d'elles comprend le système AHF et la liaison de raccordement.
- Les portions restantes, comme les deux réseaux IP et le réseau non IP formant l'autre portion d'accès, sont conformes au conduit HRP représenté à la Fig. III.3 de l'Appendice III de la Recommandation UIT-T Y.1541.
- Le réseau non IP a une capacité de débit T1.
- La plus grande longueur de paquet est de 1 500 octets et la longueur des paquets VoIP est de 200 octets.
- La distance totale et la longueur de trajet sont respectivement de 4 070 km et 5 087,5 km, conformément à l'hypothèse formulée dans l'Appendice III de la Recommandation UIT-T Y.1541.

Le Tableau 11 décrit la configuration du conduit fictif de référence (HRP) en fonction du nombre et du type de routeur et de la distance ainsi que la contribution de tous les éléments du conduit HRP au temps IPTD et à la variation IPDV dans un environnement d'interfaces UNI-UNI. A l'exception des valeurs se rapportant à la portion d'accès y compris le système AHF, les valeurs de chaque élément figurant dans le réseau IP 1, le réseau IP 2 et le réseau non IP sont conformes au Tableau III.2 de l'Appendice III de la Recommandation UIT-T Y.1541.

Les paramètres IPTD et IPDV du réseau d'accès y compris le système AHF,  $D(AN)$  et  $DV(AN)$ , dépendent du protocole d'accès décrit au § 1 de la présente annexe et sont décrits au § 6.3; ils varient considérablement en fonction de certaines conditions comme le trafic total. Il est donc difficile de fixer des valeurs.

On trouvera dans l'Annexe 2 du présent Rapport des exemples du retard dû au protocole d'accès dans le cas où un protocole d'accès hertzien de type AMDP/AC est appliqué au système AHF. D'après l'Annexe, on suppose que  $D(AN)$  varie dans une gamme de plusieurs millisecondes ou plusieurs dizaines de ms. Dans cette analyse, la valeur de 10 ms est prise comme exemple. Cette valeur (10 ms) est également choisie comme objectif de qualité de fonctionnement du réseau HIPERACCESS de l'ETSI (voir ETSI TR 101 177 V1.1.1[1]). L'Annexe 2 donne également des exemples d'un quantile de  $1 \times 10^{-3}$  du retard dû au protocole d'accès. Bien que cette valeur varie aussi dans certaines conditions, on a adopté, à titre d'exemple, une valeur de 16 ms pour l'accès AMDP/AC (mode 54M,  $m = 5$ ).

FIGURE 26

Conduit fictif de référence pour classe de QoS 0 (le système AHF y compris)

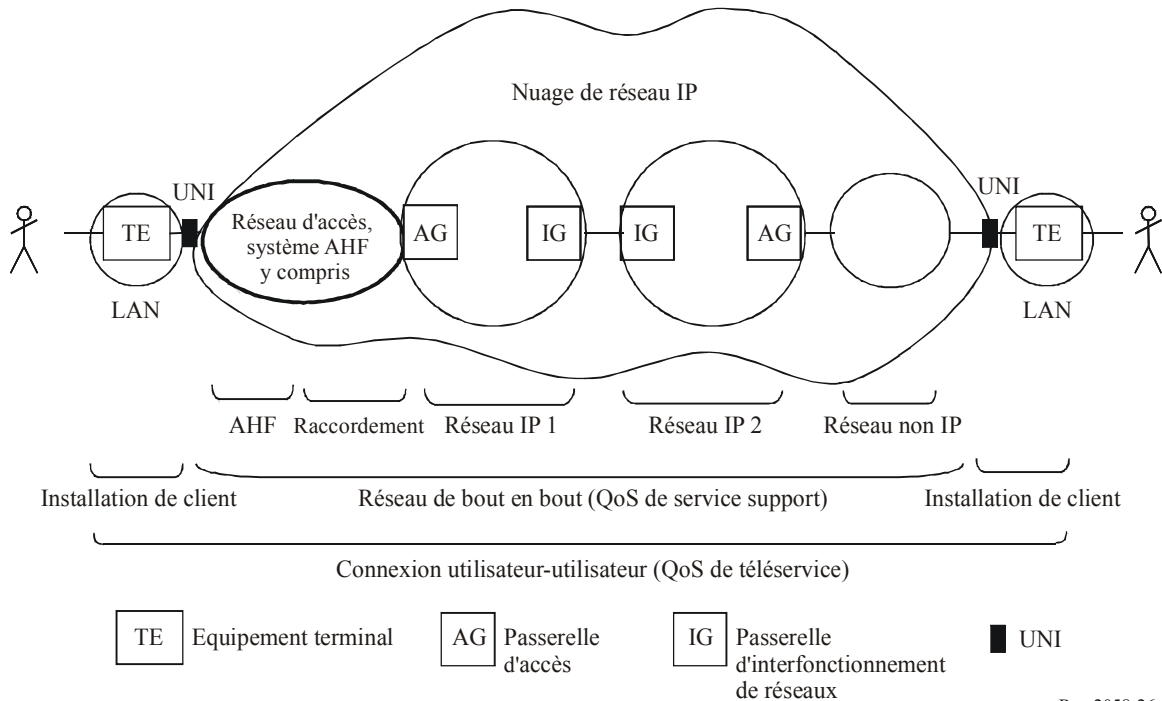


TABLEAU 11

**Analyse du temps de transfert pour un exemple de conduit de classe QoS 0  
(AMDP/AC comme protocole d'accès) du système AHF**

Élément	Unité	Unité IPTD (ms)	IPTD moyen (ms)	Unité IPDV (ms)	IPDV max (ms)
Distance	4 070 km				
Trajet	5 087,5 km		25		
Réseau d'accès, système AHF y compris	1	1	<b>10</b>	1	<b>16</b>
Réseau IP 1			20		28
Accès, $N_A$	1	10	10	16	16
Distribution, $N_D$	1	3	3	3	3
Noyau, $N_C$	2	2	4	3	6
Passerelle d'interfonctionnement GW, $N_I$	1	3	3	3	3
Réseau IP 2			24		34
Accès, $N_A$	1	10	10	16	16
Distribution, $N_D$	1	3	3	3	3
Noyau, $N_C$	4	2	8	3	12
Passerelle d'interfonctionnement GW, $N_I$	1	3	3	3	3
Réseau non IP			15		0
<b>Total interfaces UNI-UNI (ms)</b>			<b>94</b>		<b>78</b>
Spécifications de la Recommandation UIT-T Y.1541			100		50

La valeur calculée du temps IPTD dans un environnement d'interfaces UNI-UNI est de 94 ms et reste inférieure à la valeur de 100 ms spécifiée pour la classe 0. En revanche, la valeur calculée de la variation IPDV dans un environnement d'interfaces UNI-UNI est de 78 ms, valeur qui est supérieure à celle indiquée dans la Recommandation UIT-R Y.1541 (50 ms). Un complément d'étude sera nécessaire à cet égard. Toutefois, il convient de noter ce qui suit:

- la valeur de 78 ms s'obtient à partir de 16 ms (DV(AN)) et de 62 ms (variation IPDV due à d'autres portions);
- la valeur de 62 ms due à d'autres portions coïncide avec la valeur utilisée comme exemple de calcul de la variation IPDV dans un environnement d'interfaces UNI-UNI au Tableau III.2 de l'Appendice III de la Recommandation UIT-T Y.1541; et
- dans ladite Recommandation il est précisé que la valeur de 62 ms est très pessimiste car elle suppose l'addition du pire cas dans chaque routeur.

Le Tableau 11 fournit également un exemple de temps de transfert dans l'environnement d'interfaces UNI-UNI dans le cas où l'AMDP/AC est utilisé comme protocole d'accès pour un système AHF. Dans un système AHF fondé sur l'accès AMRT, il peut être possible d'améliorer le temps IPTD et la variation IPDV de ce temps.

## Annexe 5

### Caractéristiques techniques des systèmes AHF large bande utilisées pour la téléphonie IP

#### 1 Introduction

Le service VoIP est devenu récemment l'une des applications les plus intéressantes pour les fournisseurs de services Internet large bande, même pour les opérateurs de télécommunication traditionnels. L'UIT-T normalise actuellement plusieurs aspects de la technique VoIP: protocoles, transmission et qualité de la voix. Plusieurs Recommandations de l'UIT-T définissent les objectifs de qualité de fonctionnement de bout en bout applicables à un réseau IP. Lorsqu'un service IP est fourni par un système AHF, il conviendrait aussi de définir des objectifs de qualité pour la section hertzienne afin de satisfaire aux objectifs de qualité de fonctionnement de bout en bout. La présente annexe fournit des éléments d'appréciation permettant de répondre aux paramètres de qualité de la téléphonie IP acheminée par des systèmes AHF.

#### 2 Paramètres requis pour la téléphonie IP par rapport aux objectifs de qualité de fonctionnement de bout en bout

Les Recommandations UIT-T Y.1540 et Y.1541 contiennent des objectifs de performance concernant la transmission des paquets IP. La première définit des paramètres de disponibilité et la seconde spécifie six classes de QoS et des paramètres de performance du transfert de paquets IP. Les deux Recommandations s'appliquent à un service international de communication de données IP de bout en bout ainsi qu'à une gamme étendue d'applications IP: VoIP, conférence multimédia ou transfert de données interactif. Par conséquent, certains objectifs de qualité sont insuffisants pour la transmission vocale.

Il existe deux méthodes pour mesurer la qualité vocale en téléphonie: la méthode subjective et la méthode objective. L'évaluation selon la note moyenne d'opinion (MOS) est généralement utilisée dans les tests subjectifs dont on établit une moyenne mathématique afin d'obtenir un indicateur quantitatif de la performance du réseau. La Recommandation UIT-T P.800 décrit une procédure détaillée de mesures MOS. L'évaluation PESQ constitue l'un des tests objectifs représentatifs qui permet de mesurer la netteté en comparant un signal d'essai d'entrée avec le signal de sortie dans le réseau. La Recommandation UIT-T P.862 indique la procédure de mesure PESQ.

Cette procédure, à elle seule, ne peut assurer la qualité de la voix dans son intégralité. Le modèle E, décrit dans la Recommandation UIT-T G.107, est utilisé pour évaluer pleinement la qualité de la voix. Il permet de calculer l'indice de transmission  $R$ , de la façon suivante:

$$R = R_0 - I_s - I_d - I_{e, eff} + A \quad (14)$$

où:

- $R_0$ : rapport signal/bruit de base,
- $I_s$ : combinaison de toutes les dégradations intervenant simultanément avec le signal vocal,
- $I_d$ : dégradation due au temps de propagation,
- $I_{e, eff}$ : dégradation due à un codage à faible débit binaire et à une perte de paquet.

Le facteur d'avantage,  $A$ , permet de compenser les facteurs de dégradation comme les communications mobiles.

La norme TTC JJ-201.01 contient une description de ces paramètres, qui sont utilisés avec le facteur d'évaluation  $R$ , de pair avec leur méthode d'évaluation.

### 3 Eléments à prendre en considération pour satisfaire aux paramètres de qualité de fonctionnement de la téléphonie IP acheminée par des systèmes AHF

Le temps de propagation et l'écho sont des paramètres qui influent sur la qualité de la voix telle qu'elle est évaluée par l'indice  $R$ . La perte de paquet, paramètre propre au réseau par paquets, influence aussi sur la qualité de la voix. Ces paramètres varient en fonction du système hertzien.

#### 3.1 Temps de propagation et écho

Il s'agit là de paramètres qui doivent être examinés sérieusement dans les systèmes hertziens. Trois paramètres de temps de propagation décrits dans le modèle E sont indiqués au Tableau 12.

TABLEAU 12  
Paramètres du temps de propagation dans le modèle E

Paramètre	Abréviation	Unité	Intervalle
Temps de propagation absolu sur connexion exempte d'écho	$T_a$	ms	< 500 ms
Temps de propagation aller-retour du trajet d'écho	$T_r$	ms	< 1 000 ms
Temps de propagation moyen dans un sens du trajet d'écho	$T_a$	ms	< 500 ms

La valeur  $T_a$  est le temps de propagation absolu excessif, qui se produit même en cas d'annulation parfaite de l'écho. Les valeurs  $T_r$  et  $T$  occasionnent, respectivement, un écho pour l'auditeur et un écho pour le locuteur. Lorsqu'un système AHF assure un service de téléphonie IP, le temps de transfert de paquets dans une section d'accès hertzien devrait être inférieur à 500 ms, moins le temps de propagation inhérent au terminal, y compris les codeurs, le réseau central et le réseau d'accès filaire dans le sens opposé. Lorsqu'on utilise des systèmes hertziens pour le réseau d'accès ou le réseau d'accès hertzien multibond, il convient que le temps de propagation dans chaque section d'accès hertzien soit conçu de telle manière que le temps de propagation total dans les sections d'accès hertzien réponde à l'objectif fixé. Cet objectif est une valeur provisoire car il s'agit du temps de propagation maximal utilisé dans le modèle E. Un complément d'étude s'impose si l'on veut fixer un objectif précis.

#### 3.2 Perte de paquet

L'évaluation de la perte de paquet est nécessaire pour l'évaluation de la qualité de la voix. La perte de paquet augmente lorsque les conditions du réseau sont telles que le trafic des paquets dépasse les capacités prévues de performance du réseau. Cette situation se produit à la fois dans les systèmes filaires et dans les systèmes hertziens. La probabilité de perte de paquet ( $P_{pi}$ ) est plus grande dans les systèmes hertziens que dans les systèmes filaires car la performance de réseau des premiers est généralement inférieure à celle des seconds. Dans les systèmes hertziens, le débit de transmission des données est inférieur à celui des systèmes filaires (optiques) et le signal peut parfois se dégrader à cause des brouillages, de l'effet d'écran ou de l'atténuation par la pluie.



$P_{pl}$  comprend la probabilité de perte de paquet dans le réseau ( $P_{pIN}$ ) et la probabilité de perte de paquet dans un tampon d'absorption de gigue ( $P_{pIB}$ ).  $P_{pIN}$  est le rapport du nombre de paquets reçus au nombre de paquets transmis.  $P_{pIB}$  est le nombre de paquets perdus à cause du débordement du tampon d'absorption de gigue. Lorsqu'un système AHF fournit un service VoIP, le taux de perte de paquet devrait être inférieur à 20% moins  $P_{pIB}$  et  $P_{pIN}$  d'un réseau filaire (voir le Tableau 13). Tout comme pour l'objectif du temps de propagation, lorsqu'on utilise des systèmes hertziens pour le réseau d'accès ou le réseau d'accès hertzien multibond, il convient que la probabilité de perte de paquet dans chaque réseau d'accès hertzien soit telle que des parties entières du réseau d'accès hertzien puissent satisfaire à l'objectif fixé. Cette valeur est elle aussi provisoire car il s'agit de la valeur maximale de la probabilité de perte de paquet aléatoire qui est utilisée dans le modèle E. Un complément d'étude s'impose si l'on veut fixer un objectif précis.

TABLEAU 13

**Paramètre de perte de paquet**

Paramètre	Abréviation	Unité	Intervalle
Probabilité de perte de paquet aléatoire	$P_{pl}$	%	< 20

Le modèle de calcul ainsi que la méthode de  $P_{pIB}$  sont exposés respectivement dans la norme TTC JJ-201.01 et le document «Network performance metrics in estimating the speech quality of VoIP» (MASUDA, M. et ORI, K. [novembre 2001] IEICE APSITT2001, p. 333-337).

**4 Exemple de qualité vocale pour conduits fictifs, systèmes AHF y compris**

Le présent paragraphe a pour objet d'évaluer le temps de traitement d'un codeur vocal conforme à la Recommandation UIT-T G.711. Par la suite, on se reportera à l'analyse du temps de propagation de bouche à oreille, y compris du temps de propagation interfaces UNI-UNI et du temps de propagation lié au codeur, qui permet de décrire les résultats du calcul de la valeur R définie dans la Recommandation UIT-T G.107 comme paramètre d'évaluation de la qualité de la parole.

**4.1 Temps de propagation lié au codeur**

Depuis une date récente, plusieurs types de codeurs, conformes aux Recommandations UIT-T G.711, G.729 et G.723.1, sont utilisés pour la téléphonie IP. Dans ces codeurs, la technique de codage la plus populaire est celle qui est spécifiée dans la Recommandation UIT-T G.711. Les données codées ne sont pas comprimées et le débit de codage est de 64 kbit/s. Les valeurs adoptées pour les composantes du temps de propagation sont énumérées au Tableau 14.

On suppose que la longueur des paquets VoIP est de 200 octets, avec un en-tête TCP/IP de 40 octets et une charge utile de 160 octets. Par conséquent, la trame temporelle du codeur est de 20 ms. Ainsi, conformément à la Recommandation UIT-T G.113, on suppose que le temps de traitement pour la formation des paquets correspond au double de 20 ms, c'est-à-dire 40 ms. De plus, un tampon de suppression de gigue permet d'absorber la gigue entre des paquets entrants et en principe, la capacité du tampon est fixée en fonction de sa variation IPDV maximale. Par exemple, si cette variation IPDV est égale à 78 ms (voir le calcul dans le Tableau 11 de l'Annexe 4), la capacité du tampon sera de 80 ms. Selon la Recommandation UIT-T Y.1541, la contribution du tampon de suppression de gigue est fondée sur la durée moyenne que les paquets passent dans le tampon et on peut supposer qu'elle correspond à la moitié de la capacité du tampon. Dans ce cas, la contribution du tampon est donc de 40 ms. Il faut en outre ajouter 10 ms si on utilise la technique de masquage de perte de paquet (PLC). De ce fait, on estime alors que le temps de propagation lié au codeur est de 80 ms ou de 90 ms au total.

TABLEAU 14

**Exemple de temps de propagation lié à un codeur conforme  
à la Recommandation UIT-T G.711**

		Temps de propagation (ms)	Notes
Formation des paquets		40	2 fois la taille de la trame
Tampon de suppression de gigue, moyenne		40	En cas de tampon de 80 ms
Masquage de perte de paquet	Appendice I/G.711	10	Une «trame» PLC
	Aucun	0	
Total		80 ou 90	80 ms (sans PLC), 90 ms (avec PLC)

Il est possible de diminuer le temps de propagation total lié au codeur en réduisant le temps de formation des paquets et/ou la capacité du tampon de suppression de gigue. Le temps de formation des paquets dépend de la taille de la trame et l'existence d'une trame plus petite peut améliorer le temps de propagation lié au codeur. Toutefois, le rapport longueur d'en-tête VoIP/longueur totale de paquet VoIP augmente et, de ce fait, l'efficacité de transmission de la liaison sera dégradée. Une capacité de tampon de gigue inférieure peut aussi diminuer le temps de propagation lié au codeur. Or, en réduisant la capacité du tampon on augmente l'arrivée dans le désordre des paquets qui seront éliminés.

#### 4.2 Temps de propagation de bouche à oreille

La Recommandation UIT-T G.114 préconise une valeur inférieure à 150 ms du temps de propagation de bouche à oreille. Le présent paragraphe fournit un exemple de résultat de calcul portant sur ce paramètre. Ce temps de propagation dépend de  $D(AN)$  et  $DV(AN)$ , qui varient en fonction de certaines conditions comme le protocole d'accès AHF et le nombre de stations d'abonné.

Il est tenu compte des hypothèses suivantes:

- Les contributions du temps de propagation de groupe par rapport au temps IPTD et à la variation IPDV (interfaces UNI-UNI) sont fondées sur le Tableau 7 de l'Annexe 2, sauf les contributions par portion d'accès, y compris le système AHF, à savoir  $D(AN)$  et  $DV(AN)$ .
- Le principal facteur occasionnant  $D(AN)$  et  $DV(AN)$  est un retard dû au protocole d'accès du système AHF, les autres facteurs n'étant pas pris en considération.
- Le système AHF adopte un protocole d'accès hertzien avec AMDP/AC authentique.
- Si les  $m-1$  stations, depuis la première jusqu'à la  $(m-1)$ -ième station envoient des paquets longs (1 500 octets) de type FTP, l'autre station *isolée* ( $m$ -ième) cherche à envoyer un paquet court (200 octets) pour VoIP.
- Les contributions du temps de propagation de groupe dues au traitement du temps de propagation lié au codeur sont fondées sur le Tableau 9, sauf la contribution du tampon de suppression de gigue. On suppose que cette contribution dépend de la variation totale IPDV des interfaces UNI-UNI. (La capacité du tampon est, par hypothèse, égale à la variation IPDV des interfaces UNI-UNI et la contribution moyenne du tampon de suppression de gigue correspond à la moitié de la capacité du tampon.)

Compte tenu des hypothèses ci-dessus, le temps de propagation de bouche à oreille  $D(total)$  survenant lors d'une transmission de paquets courts peut être calculé approximativement par la formule suivante:

*Temps de propagation lié au codeur = Formation des paquets + Tampon de suppression de gigue + PLC*

$$Formation\ des\ paquets = 40\ ms$$

$$Tampon\ de\ suppression\ de\ gigue \approx \frac{DV(AN) + DV(IP\ Net\ 1) + DV(IP\ Net\ 2)}{2}$$

$$DV(AN) \approx DV(FWA) = A_{(S)} - B_{(L)} \left( \frac{3}{\log p_m} + 1 \right) \quad (15)$$

$$DV(IP\ Net\ 1) = 28\ ms$$

$$DV(IP\ Net\ 2) = 34\ ms$$

$$PLC = \begin{cases} 10\ ms & (\text{avec PLC}) \\ 0 & (\text{sans PLC}) \end{cases}$$

$$\begin{aligned} D(total) &= IPTD (UNI \cdot UNI) + Temps\ de\ propagation\ lié\ au\ codeur \\ &= D(AN) + D(Trajet) + D(Réseau\ IP1) + D(Réseau\ IP2) + D(Réseau\ IP) + Temps\ de \\ &\quad propagation\ lié\ au\ codeur \end{aligned}$$

où:

$$D(AN) \approx D(FWA) \approx A_{(S)} + B_{(L)} \frac{p_m}{1-p_m} \quad (16)$$

$$D(Trajet) = 25\ ms$$

$$D(Réseau\ IP\ 1) = 20\ ms$$

$$D(Réseau\ IP\ 2) = 24\ ms$$

$$D(Réseau\ non\ IP) = 15\ ms$$

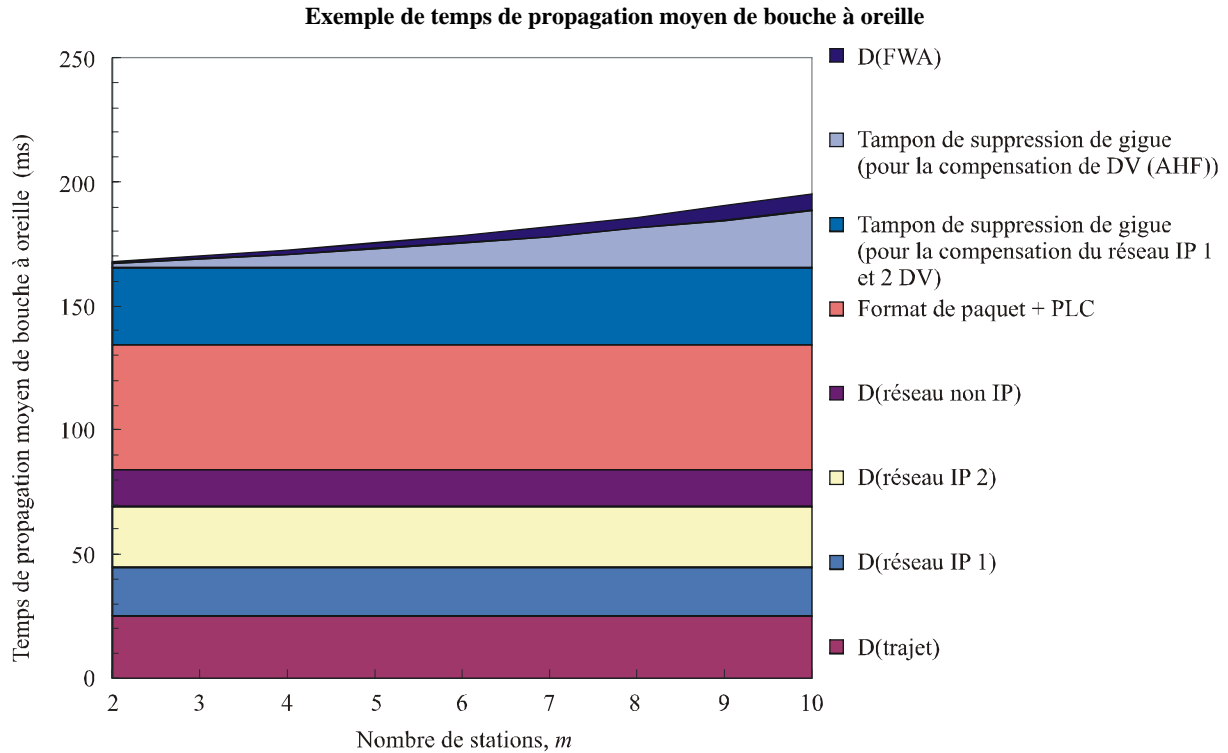
$A_{(S)}$ ,  $B_{(L)}$ , et les équations (13) et (14) sont indiquées dans l'Annexe 5.

Par conséquent,  $D(total)$  est calculé comme suit:

$$D(total) \approx \frac{3}{2} A_{(S)} + \frac{B_{(L)}}{2} \left( \frac{2p_m}{1-p_m} - \frac{3}{\log p_m} - 1 \right) + 165\ (\text{ou}\ 155)$$

La Fig. 27 décrit un exemple de calcul d'un temps de propagation de bouche à oreille que subit un paquet court à partir de la  $m$ -ième station. On suppose que le mode de transmission est l'AMDP/AC, 54M. Lorsque neuf stations cherchent à envoyer des paquets longs, un paquet VoIP de la 10ème station peut subir un temps de propagation d'environ 200 ms.

FIGURE 27



Rap 2058-27

Par ailleurs, chaque contribution du temps de propagation de bouche à oreille est représentée à la Fig. 27. Le temps de propagation de 165 ms ne dépend pas des caractéristiques du système AHF. Si  $m$  est petit, ce temps de propagation de 165 ms devient la contribution dominante du temps de propagation de bouche à oreille. En revanche, quand  $m$  augmente, les contributions liées au système AHF augmentent sensiblement; elles se composent comme suit:

- D(AHF): temps IPTD se produisant dans une portion de système AHF; et
- D(tampon): composante du délai de traitement pour la compensation de DV(AHF) par le tampon de suppression de gigue.

Dans cet exemple, D(tampon) est comparativement plus important que D(AHF).

### 4.3 Exemples de calcul de la valeur R

Comme décrit au § 4.2, le temps de propagation de bouche à oreille dépend du nombre de stations  $m$  dans certaines conditions, et il est évident que la valeur  $R$  définie dans la Recommandation UIT-T G.107 dépend du temps de propagation de bouche à oreille. On peut donc penser que la valeur  $R$  dépend de  $m$ . D'après les hypothèses formulées au § 4.2, on trouvera à titre d'exemple la description d'une relation entre  $m$  et la valeur  $R$  lorsque la probabilité de perte de paquet  $Ppl$  a respectivement les valeurs de 0, 0,1, 1,0 et 3,0%. Le facteur de dégradation équivalente due à l'équipement en fonction de la perte de paquet,  $Ie-eff$ , obtenu par le facteur de dégradation due à l'équipement,  $Ie$ , le facteur de robustesse à la perte de paquets,  $Bpl$ , et la probabilité de perte de paquet,  $Ppl$  sont indiqués au Tableau 15.

Les autres valeurs des paramètres requis pour calculer la valeur de  $R$  sont les valeurs par défaut indiquées dans la Recommandation UIT-T G.107. L'hypothèse ci-après a été adoptée ici:

Temps de propagation moyen dans un sens ( $T$ ) = Temps de propagation absolu ( $Ta$ ) = Temps de propagation aller-retour ( $Tr$ )/2.

Des exemples de résultats des calculs sont donnés à la Fig. 28 (mode 54M) et à la Fig. 29 (mode 24M). Lorsque  $m$  est petit, la dégradation de la valeur  $R$  dans chaque mode est presque égale. Toutefois, à mesure que  $m$  augmente, la valeur  $R$  du mode 24M connaît une forte dégradation.

TABLEAU 15  
Facteur de dégradation due à l'équipement

Codeur	PLC	$I_e$	$B_{pl}$	$P_{pl}$ (%)	$I_e\text{-eff}$
G.711	Appendice I de la Rec. UIT-T G.711	0	25,1	0	0
				0,1	0,4
				1,0	3,6
				3,0	10,1
G.711	Aucun	0	4,3	0	0
				0,1	2,2
				1,0	17,9
				3,0	39,0

Si la valeur de  $P_{pl}$  est petite (0,1%), on constate qu'il est possible d'utiliser un codeur conforme à la Recommandation UIT-T G.711 sans PLC pour les communications vocales. Toutefois, le masquage PLC sera nécessaire si la perte de paquet est importante. Le masquage PLC améliore la valeur  $R$  et la maintient au-dessus de 70%.

FIGURE 28

Exemples de calcul de la valeur  $R$  (AMDP/AC, mode 54M)

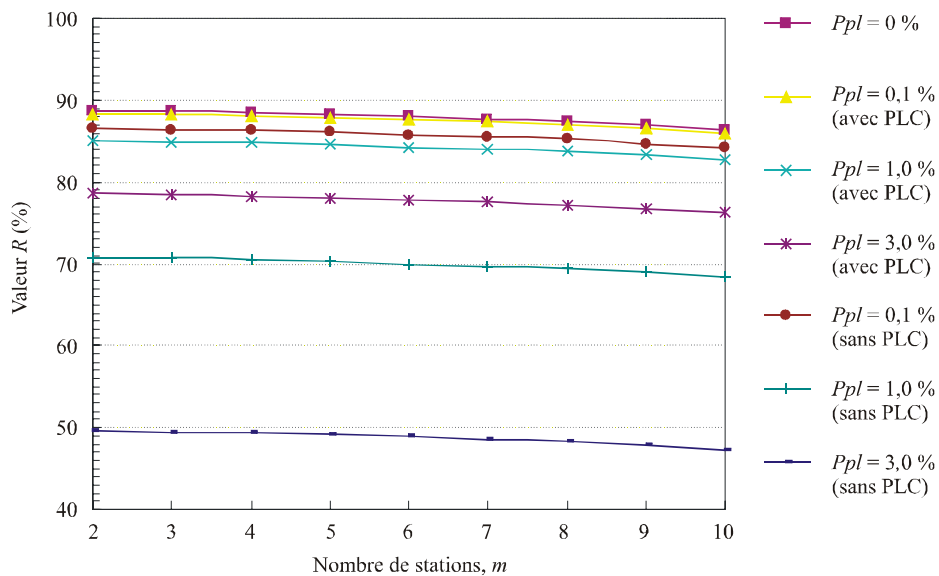
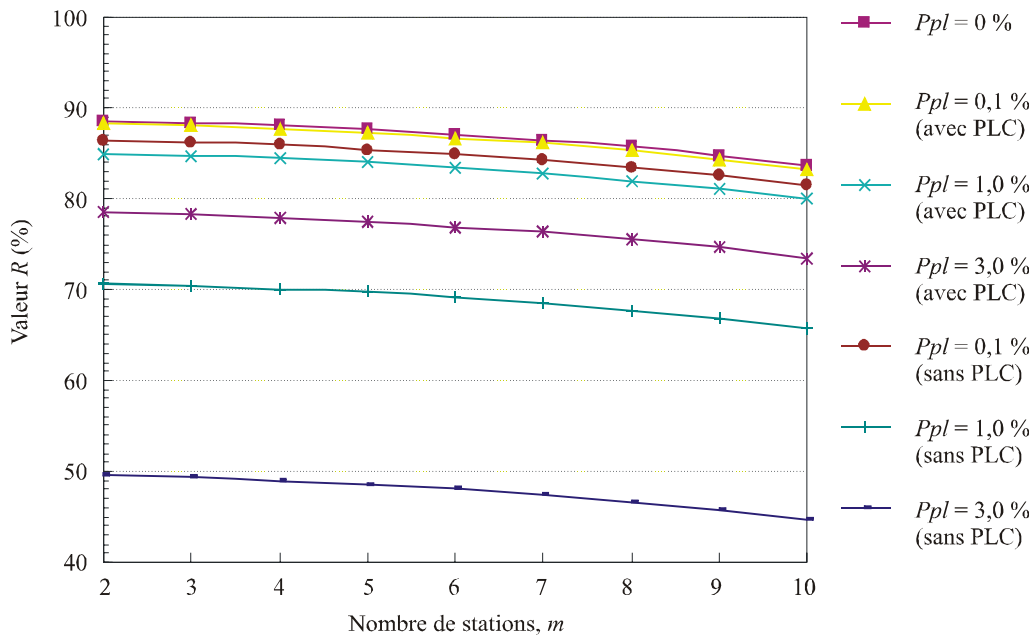


FIGURE 29

Exemples de calcul de la valeur  $R$  (AMDP/AC, mode 24M)

Rap 2058-29

## Annexe 6

## Techniques pour améliorer l'efficacité d'utilisation du spectre

## 1 Introduction

Dans les systèmes ATM, les cellules sont produites de manière asynchrone. Des cellules libres sont insérées lorsque le flux de cellules est transmis sur des lignes de transfert large bande (voir la Fig. 30). Dans ce cas, des intervalles entre les cellules valides sont maintenus, tout comme la variation CDV. Toutefois, cette méthode ne convient pas aux systèmes hertziens du point de vue de l'efficacité d'utilisation du spectre. Elle permet de supprimer les cellules libres afin d'améliorer l'efficacité d'utilisation du spectre. Le présent paragraphe a pour objet de décrire des méthodes visant à maintenir une variation CDV sans insérer des cellules libres et fournit des exemples de différentes méthodes possibles.

La suppression des cellules libres est indispensable pour garantir l'efficacité d'utilisation du spectre. Les cellules libres devraient être considérées comme un remplissage de la couche physique qu'il faut transmettre en l'absence de tout autre élément disponible. En tout état de cause, la suppression des cellules libres ne signifie pas qu'il faut transmettre des cellules ATM dans des salves plus longues qu'une cellule car une telle transmission produit un temps de transfert inacceptable. Chaque fois qu'une salve doit être formée (comme sur le canal amont d'un système P-MP), il faut qu'elle ait la taille d'une cellule.

Moyens possibles d'éviter la présence de cellules libres sur le canal radioélectrique:

- Multiplexage statistique (si le débit binaire du canal est comparable à celui de l'interface en bande de base).
- Assignation d'un débit binaire beaucoup plus faible au canal radioélectrique.

## 2 Multiplexage statistique

Lorsque le multiplexage statistique existe (utilisation partagée d'un support physique par plusieurs connexions/stations) et que le débit binaire du canal est comparable à celui de l'interface en bande de base (ou n'est pas sensiblement inférieur à celui-ci), il est possible de réduire la perte occasionnée par les cellules libres sans introduire aucune variation du temps de transfert de cellules. Une deuxième connexion/station utilisera les intervalles de temps non occupés par la première station et ainsi de suite. Un exemple de connexion est indiqué à la Fig. 30: les intervalles de temps laissés vides après la suppression des cellules libres (signalés par un «\*») peuvent être utilisés par d'autres connexions/stations du canal radioélectrique.

## 3 Réduction du débit binaire dans le canal radioélectrique

Si le débit binaire du canal est bien inférieur à celui de l'interface en bande de base à chaque station terminale, on observe une perte de granularité dans l'information de position des cellules et on peut alors utiliser une technique semblable à celles décrites dans la suite du texte pour récupérer cette information. Cela n'est probablement justifié que si la réduction du débit binaire est grande (> 10 fois) et la «sporadicité» de la connexion élevée (de longues salves à un débit cellulaire crête (PCR), suivies de longues périodes de silence). Il convient aussi de noter que le débit PCR négocié ne devrait pas dépasser le débit du canal radioélectrique (c'est le rôle de l'admission et du contrôle de la connexion) et, dans cette hypothèse, le problème ne se pose pas. Si l'on veut que le débit PCR dépasse le débit de l'interface radioélectrique, il est possible d'utiliser l'une des techniques ci-après qui sont fournies à titre d'exemple.

Si le débit binaire du canal est bien inférieur à celui de l'interface en bande de base, les cellules libres sont supprimées du côté émission mais doivent être réinsérées du côté réception où il existe deux méthodes de régénération des cellules libres.

### a) Intervalle régulier

Dans cette méthode, l'intervalle entre cellules valides est maintenu fixe du côté réception (voir la Fig. 31). Cette méthode est applicable pour un débit CBR avec intervalle constant entre les cellules et un débit non spécifié (UBR) qui est indépendant de la variation CDV. L'avantage de cette méthode réside dans sa fonction facile de contrôle. Or, elle a pour inconvénient une dégradation de la performance due à la variation CDV dans le service VBR.

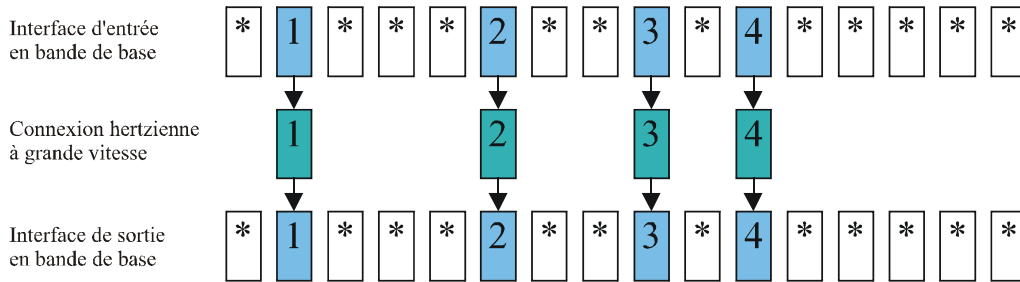
### b) Indication horaire

Dans cette méthode, l'information de temps est produite en fonction de chaque intervalle de temps de cellule et cette information est horodatée du côté émission (voir la Fig. 32). Les intervalles entre les cellules sont contrôlés exactement d'après les indications horaires du côté réception. Cette méthode a le mérite de maintenir la variation CDV. En revanche, elle diminue l'efficacité de transmission car il faut ajouter des octets supplémentaires pour la transmission des indications horaires ainsi qu'un délai supplémentaire pour traiter les fluctuations de la variation CDV (la valeur du délai supplémentaire est liée aux fluctuations de la variation CDV et à la longueur de salve maximale à l'interface en bande de base et n'est donc pas facile à calculer).

FIGURE 30

**Connexion hertzienne à grande vitesse avec une salve d'une cellule et multiplexage statistique**

\* = Cellules libres. Dans la connexion hertzienne, les intervalles de temps libres sont utilisés pour d'autres connexions (multiplexage statistique)

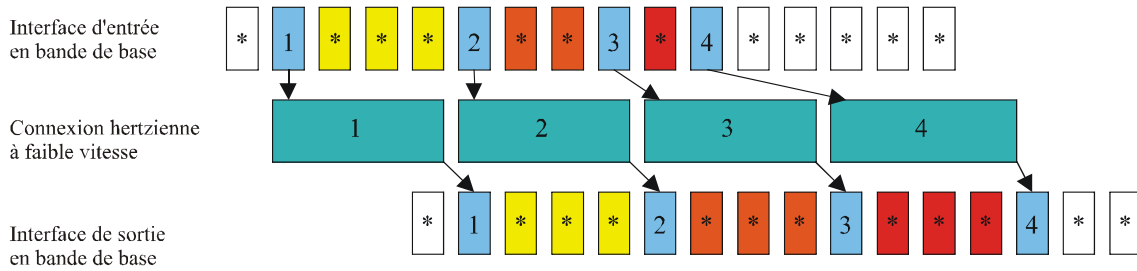


Rap 2058-30

FIGURE 31

**Connexion hertzienne à faible vitesse avec une salve d'une cellule et aucun marquage temporel (la variation CDV n'est pas maintenue)**

\* = Cellules libres.

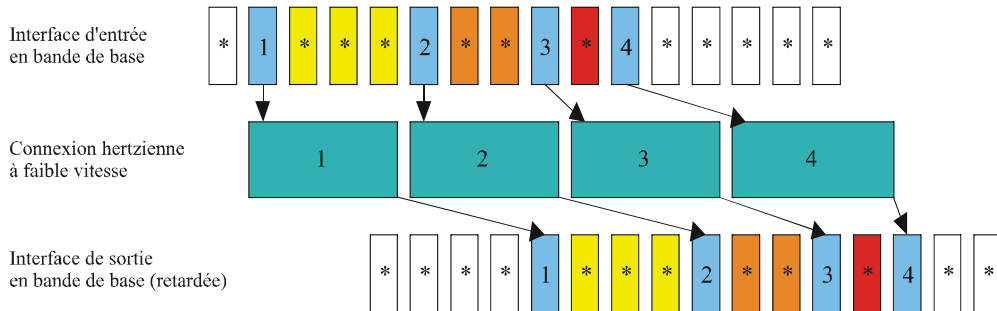


Rap 2058-31

FIGURE 32

**Connexion hertzienne à faible vitesse avec une salve d'une cellule et marquage temporel (maintien de la variation CDV)**

\* = Cellules libres.



Rap 2058-32



## Annexe 7

### Techniques de correction d'erreurs dans un système AHF en mode ATM

#### 1 Demande ARQ pour un système AHF en mode ATM

##### 1.1 Introduction

La demande ARQ est l'une des techniques de protection contre les erreurs. Elle nécessite un code de détection d'erreurs et un numéro d'ordre par cellule. Ces numéros sont produits en fonction de l'ordre des cellules et ajoutés à chaque cellule valide du côté émission. Lorsqu'une cellule valide est perdue, le récepteur demande la retransmission de la cellule perdue au côté émission. Après la retransmission, les cellules seront repositionnées en fonction du numéro d'ordre.

Cette demande ARQ est efficace pour les services en temps différé. Toutefois, le temps de transfert peut poser un problème dans les services en temps réel. Il existe une solution qui consiste à limiter la demande ARQ aux seuls services en temps différé. Toutefois, une stratégie de demande ARQ rapide, avec un nombre limité de nouvelles tentatives, peut être appliquée aux services en temps réel.

Il convient de comparer la méthode de demande ARQ avec la méthode de correction FEC ou d'évaluer une combinaison de ces deux techniques.

Le principal inconvénient de la demande ARQ avec le mode ATM est le temps de transfert; pour éviter une variation CDV, il faut ajouter dans le récepteur un temps de transfert fixe égal au temps maximal de retransmission (ou temps nécessaire pour retransmettre le nombre maximal de temps).

Dans un système ATM, on trouve généralement des services ayant des temps de transfert stricts ainsi que des services moins sensibles à ce paramètre; il convient aussi de tenir compte des pertes de cellules.

Le groupe de travail ATM hertzien du Forum ATM suggère les valeurs ci-après<sup>1</sup> comme étant les plus strictes:

	Services en temps réel	Services en temps différé
CLR	$10^{-7}$	$10^{-9}$
Temps de transfert	10 ms	500 ms ou plus

Deux options sont disponibles: définir une stratégie ARQ rapide pour la totalité du trafic ou introduire une demande ARQ pour les seuls services en temps différé.

Si l'on choisit de restreindre l'utilisation de la demande ARQ aux seuls services en temps différé, cela suppose que le canal radioélectrique doit être dimensionné (puissance d'émission et capacité de FEC) de façon à garantir un taux de perte de cellules inférieur à  $10^{-7}$  sans ARQ. L'utilisation de la demande ARQ pour des services en temps différé permet de réduire le taux CLR de ces services à la valeur  $10^{-9}$  requise qui correspond à un gain de 0,5-1 dB (sur un canal gaussien; l'avantage obtenu n'est donc que marginal) (le même gain peut être obtenu avec une augmentation négligeable de la puissance ou de la longueur du code FEC) et, de plus, cette utilisation est compliquée.

<sup>1</sup> ATM Forum Baseline Text for Wireless ATM specification, février 1998 (ATM Forum BTD-WATM-01.06).

L'application d'une demande ARQ restreinte pourrait également conduire à une situation dans laquelle le système serait hors service pour un débit CBR mais opérationnel pour un débit UBR, ce qui explique principalement que l'utilité d'une retransmission lente et sélective quant au type de service soit sujet à caution.

Il est recommandé de considérer qu'une demande ARQ sélective et rapide avec retransmission potentielle de tous les types de trafic constitue une option, en particulier dans le cas des canaux caractérisés par des erreurs en salves (canaux subissant des évanouissements et des brouillages). Avec un nombre maximal de retransmissions et un temps de retransmission maximal (qui peut en principe différer d'une connexion à l'autre et tomber à 0 = pas de retransmission), il sera possible de traiter des connexions ayant des besoins différents.

Il faut s'assurer, dans la mesure du possible, que les retransmissions soient aussi rapides que possibles afin de permettre à un plus grand nombre de connexions d'être traitées par la demande ARQ.

On peut montrer que si un canal est de type gaussien, l'avantage de la demande ARQ est limité par rapport à la correction FEC avec le même préfixe (ou code FEC plus long si celle-ci est utilisée conjointement). La demande ARQ est efficace dans un environnement d'erreurs en salves. Les basses fréquences (en particulier pour l'accès mobile mais aussi pour l'accès fixe) sont exposées au bruit industriel, aux brouillages et aux évanouissements par trajets multiples et les erreurs en salves sont très courantes à ces fréquences. Les fréquences supérieures sont moins sujettes aux types de bruits susmentionnés et sont donc généralement assimilées à des environnements de bruit blanc gaussien.

La demande ARQ devrait être recommandée (en option) pour les fréquences inférieures mais pas pour les fréquences supérieures (plus de 18 GHz).

Il faut se montrer prudent au moment de mettre en œuvre la demande ARQ dans les systèmes DRT (à la fois P-MP et P-P). En effet, elle occasionne des temps de transfert importants (il faut s'attendre à des trames amont et aval plus longues qu'une cellule ATM de sorte que l'accusé de réception et la retransmission seront toujours retardés d'une trame). Il est recommandé de n'envisager d'appliquer cette méthode dans les systèmes DRT que si cela est nécessaire.

## 1.2 Comparaison entre les différentes méthodes d'ARQ

Il existe en général deux méthodes d'ARQ: la méthode avec mémoire à  $n$  blocs (GBN) et la méthode de répétition sélective (SR). Les systèmes GBN et SR sont représentés respectivement à la Fig. 33 a) et b). Dans le système GBN, le récepteur envoie sous la forme d'un message NAK le numéro d'ordre de la première cellule erronée, puis l'émetteur retourne le train de cellule à partir de la cellule indiquée par le NAK. Dans la méthode SR, lorsque le récepteur reçoit un message NAK, il retransmet uniquement la cellule erronée.

Outre ces deux méthodes, on pourrait aussi envisager la méthode suivante: l'émetteur qui recevrait confirmation des cellules reçues avec succès une par une par le récepteur ne transmettrait les cellules suivantes que lorsque les cellules antérieures sont parvenues au récepteur (voir la Fig. 33 c)). Cette méthode ne peut être acceptable que pour les systèmes AHF en mode ATM, du point de vue de l'utilisation des fréquences.

La méthode SR a besoin d'un contrôle d'ARQ plus complexe que la méthode GBN mais elle est plus efficace. La Fig. 34 indique les caractéristiques d'efficacité de transmission de la méthode GBN avec un format de trame AMRT et une erreur aléatoire. Le débit de la méthode SR est égal à celui de la méthode GBN lorsque  $N_{sortie} = 1$  et il est indépendant de  $N_{sortie}$ , où  $N_{sortie}$  indique le nombre de cellules transmises pendant une période ARQ (c'est-à-dire une trame AMRT). Dans ce calcul, le nombre de répétitions n'est pas limité. On part de l'hypothèse d'une capacité de tampon illimitée dans l'émetteur et, pour simplifier, il n'est pas tenu compte du volume de transmission des

informations ACK. S'il se produit des erreurs en salves plutôt que des erreurs aléatoires, il n'en reste pas moins vrai que la différence entre ces deux méthodes s'atténue. Comme indiqué sur la Fig. 34, à condition que le TEB soit élevé, les caractéristiques de transmission dans la méthode GBN sont sensiblement dégradées par rapport à celles de la méthode SR. Cette dernière méthode est donc souhaitable pour l'ARQ.

### 1.3 Méthodes permettant d'envoyer des notifications d'erreur du récepteur à l'émetteur

Dans la méthode SR, il est fréquent que le récepteur indique à l'émetteur avec un ACK, les numéros d'ordre des données (dans ce cas, les cellules) qui lui sont parvenus. Toutefois, il se peut que le volume d'informations ACK de l'ensemble des cellules transmises soit considérable dans les systèmes ATM hertziens examinés dans le présent Rapport car le nombre de cellules gérées par la méthode ARQ est important. En pareil cas, les informations ACK occupent toujours une partie importante de la largeur de bande du canal. Par conséquent, la méthode selon laquelle le récepteur informe l'émetteur de messages NAK qu'il n'a pas encore reçu de cellules est souhaitable du point de vue de l'efficacité d'utilisation des fréquences (dans l'hypothèse où l'incidence de la retransmission est inférieure à 1% si bien qu'un NAK est transmis uniquement après 100 cellules).

FIGURE 33  
Systèmes ARQ de base

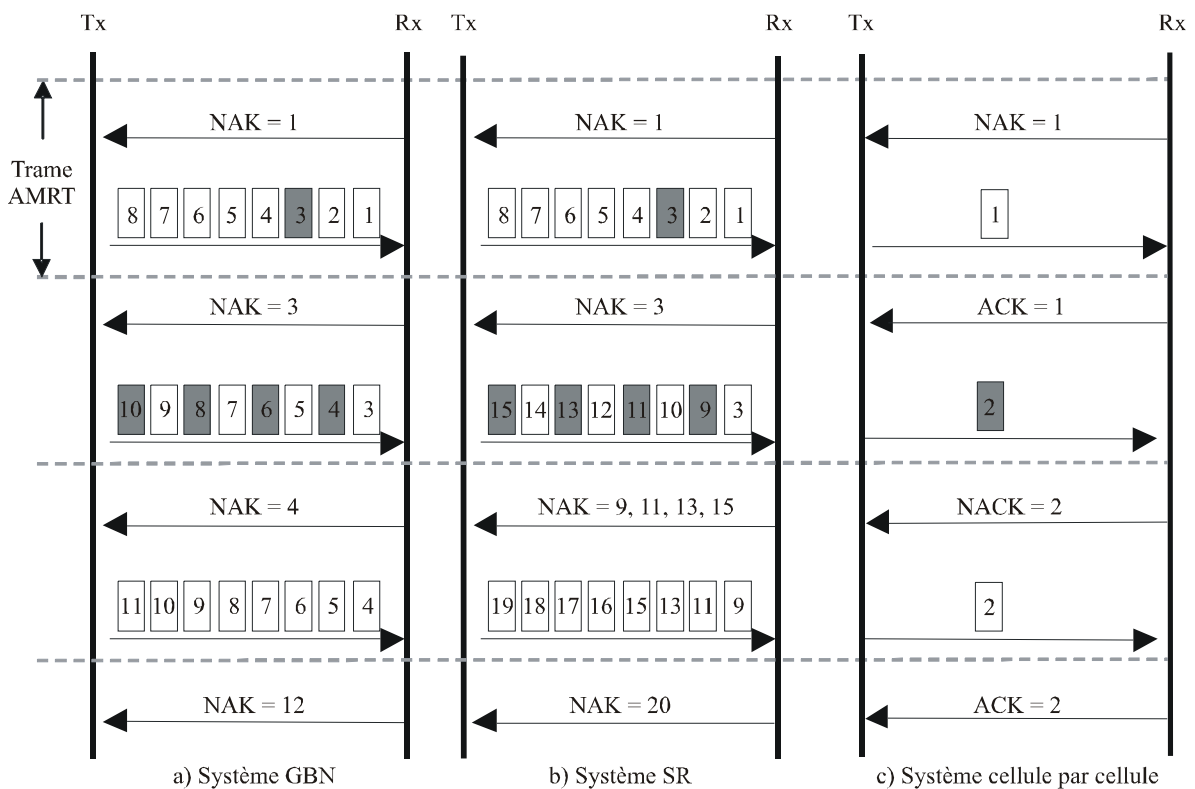
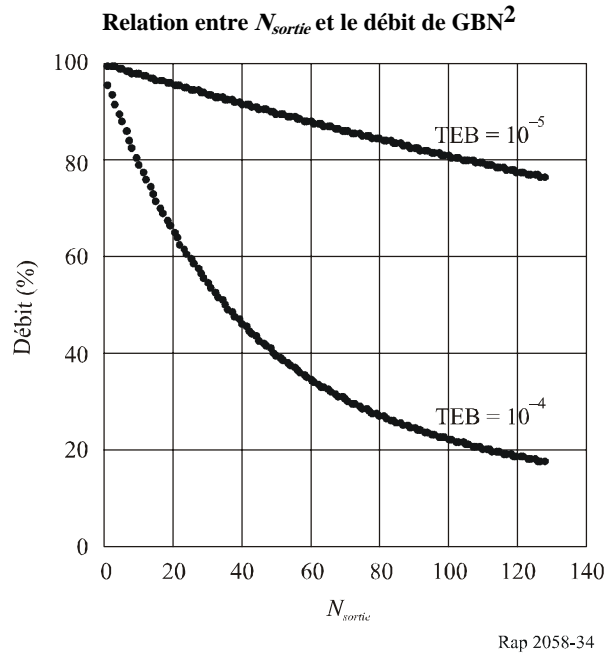


FIGURE 34



L'utilisation de messages NAK (sans ACK) pour réduire le nombre de messages d'acquiescement mérite d'être précisée: le message NAK pour la cellule 2 ne peut être envoyé qu'après réception de la cellule 3; si ce message est perdu ou si la première retransmission l'est aussi, le récepteur doit répéter le message après temporisation. Cette temporisation peut être brève si les messages NAK et les retransmissions reçoivent la plus haute priorité.

Un autre problème doit être réglé lorsqu'on choisit d'utiliser uniquement des messages NAK, à savoir: l'émetteur doit conserver la cellule dans un tampon jusqu'à ce qu'il ait la certitude qu'aucun message NAK ne sera reçu. Malheureusement, comme il est possible que des messages NAK se perdent, il faut conserver la cellule jusqu'à expiration d'une (longue) temporisation. Cette temporisation doit être plus longue que le temps de retransmission maximal ou que le temps requis pour le nombre maximal de retransmissions. Le même tampon (et donc un temps de transfert fixe) doit être ajouté dans le récepteur pour permettre la reconstitution sans introduction d'une variation CDV.

Sans préjudice de ce qui précède, le problème des messages d'acquiescement, en particulier dans le sens amont P-MP est très sérieux et l'idée de recourir à des messages NAK est bonne même si elle présente quelques inconvénients. Une autre méthode consiste à adopter une technique d'acquiescement cumulatif dont les résultats intermédiaires se situent entre la méthode avec mémoire à  $n$  blocs et la répétition sélective mais elle combine l'avantage d'un faible trafic de paquets d'acquiescement avec des tampons de petite taille.

#### 1.4 Eviter les répétitions excessives

Dans un système ATM hertzien, plusieurs types de services sont pris en considération et chacun a des besoins de QoS différents. La qualité requise des services en temps réel tels que CBR et rt-VBR (VBR en temps réel) dans les systèmes ATM hertziens est actuellement spécifiée par certaines organisations de normalisation. Le Forum ATM considère que les valeurs requises du temps CTD et du taux CLR dans le cas le plus défavorable de CBR ou rt-VBR sont respectivement de 10 ms et

<sup>2</sup> ORTA, A. *et autres* [mai 1998] PRIME ARQ: A Novel ARQ Scheme for High-speed Wireless ATM – Design, implementation and performance evaluation, VTC'98, p. 1128-1134.

$10^{-7}$ . De plus, conformément à la Recommandation UIT-T I.356, le taux CLR devrait être inférieur à  $10^{-8}$  pour la classe la plus extrême. Afin d'améliorer l'adaptation au contexte des systèmes AHF, il est souhaitable que le taux CLR puisse satisfaire aux qualités ci-dessus dans des environnements hertziens caractérisés par un grand nombre d'erreurs grâce à une méthode de protection contre les erreurs utilisant la FEC et/ou l'ARQ.

Dans les services en temps réel, le temps de transfert admissible est faible comme cela a été mentionné plus haut. Il n'est donc plus utile de faire des répétitions excessives de l'ARQ pendant ce temps de transfert. Par conséquent, le récepteur devrait surveiller le nombre de répétition ou le temps de transfert et lorsque l'une des deux valeurs dépasse la valeur autorisée, il devrait cesser d'émettre des messages NAK (l'émetteur supprimera également la cellule de son tampon après le même temps de temporisation).

## **2 Correction d'erreur dans une transmission de cellules ATM**

### **2.1 Considérations générales**

Dans un système AHF acheminant des cellules ATM, il convient que les objectifs de performance de la couche ATM soient atteints tout comme ceux de la couche physique. Les relations entre les paramètres de performance des deux couches sont maintenant étudiées au titre de la Question UIT-R 210/9. En particulier, il faut concevoir un système qui puisse satisfaire à l'objectif SESR de la Recommandation UIT-T G.826 ainsi qu'aux objectifs des taux CLR ou CER spécifiés dans la Recommandation UIT-T I.356.

### **2.2 HEC/CED et effets du codage différentiel**

Dans le transport des cellules ATM, la protection HEC est généralement appliquée à la portion d'en-tête. Par conséquent, il est possible de corriger une erreur binaire dans une portion d'en-tête, avec pour conséquence l'obtention d'un nombre beaucoup plus réduit de résultats de perte de cellules (LCO) et de cellules mal insérées.

Toutefois, il convient de noter que la protection HEC n'est pas efficace lorsque le système AHF emploie un codage différentiel dans lequel une erreur de code entraîne deux erreurs binaires contiguës. Il peut alors arriver que la protection HEC devienne inefficace et influe donc sur la performance du système en termes de taux CLR et CMR.

Il convient également de noter que la protection HEC n'est probablement pas assez efficace pour la plupart des applications hertziennes et qu'il conviendrait d'appliquer une correction d'erreur directe (CED) plus performante à l'ensemble de la cellule ATM.

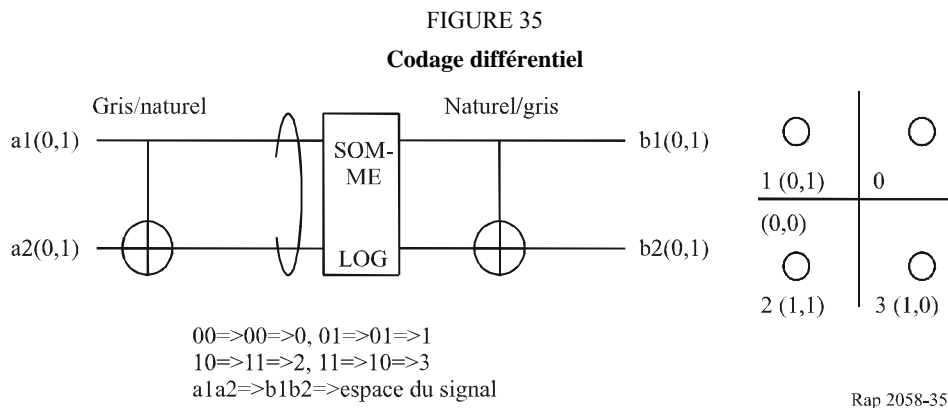
La CED est appliquée comme méthode de correction à l'ensemble de la cellule ATM et peut en général corriger des erreurs multiples. Lorsqu'elle est appliquée, elle permet de résoudre le problème du codage différentiel. De plus, si la CED est mise en œuvre, la protection HEC est alors redondante et peut être supprimée. Il est facile de vérifier qu'une correction CED dont le code possède un octet de plus est toujours plus efficace qu'une combinaison CED+HEC.

Il s'ensuit qu'il convient d'appliquer la méthode CED et de supprimer la méthode HEC chaque fois que possible. On trouvera ci-après la description d'une méthode qui montre que la protection HEC est possible dans un environnement à codage différentiel, sans CED, mais avec codage différentiel.

### 2.3 Exemple de méthode visant à éviter les effets du codage différentiel en cas d'application de la protection HEC sans correction CED

Bien qu'il existe des trajets numériques pour lesquels le codage différentiel n'est pas nécessaire, dans bien d'autres cas, on observe un codage différentiel. Afin d'éviter la propagation des erreurs à l'intérieur d'une cellule, il faudra adopter une certaine méthode de traitement des signaux binaires qui sera appliquée aux trains de cellules ATM d'entrée. Un exemple d'une telle méthode est décrit ci-après.

Le codage différentiel s'utilise en général pour supprimer l'incertitude de phase de la porteuse rétablie. Dans ce système, le signal de modulation est mappé sur l'espace du signal en fonction de la somme de deux signaux contigus. Du côté du récepteur, on calcule la différence entre le signal reçu et le signal précédent. On calcule la somme et la différence à l'aide de l'algorithme de logique modulo-4. Même s'il existe une incertitude de  $90^\circ$ , il est possible de la supprimer car les porteuses rétablies des deux signaux adjacents ont la même phase. Ces relations sont représentées à la Fig. 35.



Toutefois, en cas d'utilisation d'un codage différentiel, l'occurrence d'une erreur binaire dans le signal de réception peut se propager à deux intervalles de temps consécutifs (voir la Fig. 36).

FIGURE 36  
Erreur consécutive due au codage différentiel

$b1 \text{ OOOXOOO} \Rightarrow a1 \text{ OOOXOOO}$  ou  $\text{OOOXXOO}$  ou  $\text{OOOOXOO}$  ou  $\text{OOOOOOO}$   
 $b2 \text{ OOOOOOO} \Rightarrow a2 \text{ OOOOXOO}$  ou  $\text{OOOOOOO}$  ou  $\text{OOOXOOO}$  ou  $\text{OOOXXOO}$

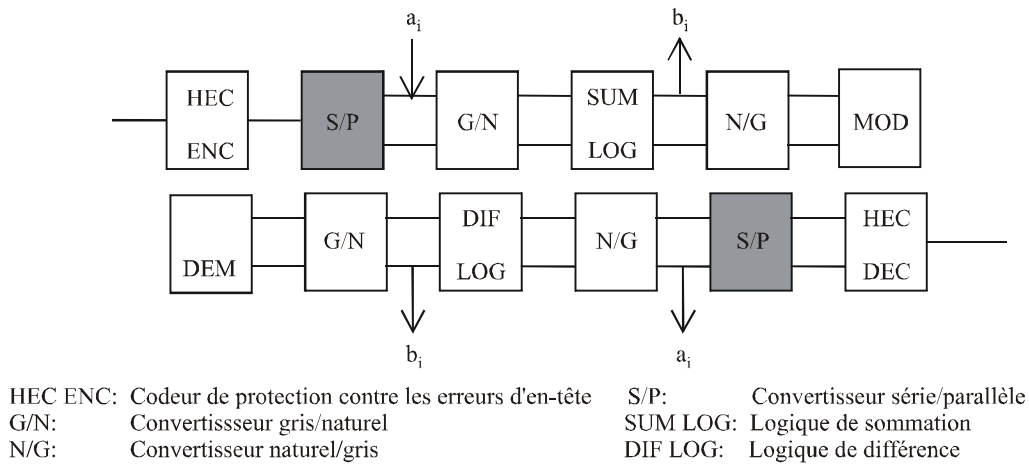
X: Erreur, O: pas d'erreur

Rap 2058-36

En revanche, une protection HEC est appliquée à l'en-tête de la cellule ATM. Cette protection est traitée en dehors du processus de codage différentiel comme indiqué à la Fig. 37 et subit l'influence de l'erreur consécutive due au codage différentiel. Etant donné que la protection HEC emploie cette fonction de correction d'erreur pour une erreur binaire et la détection d'erreur pour plusieurs erreurs binaires, l'effet sera sensiblement réduit si les erreurs consécutives susmentionnées sont dues au codage différentiel.

FIGURE 37

Processus HEC d'une cellule ATM

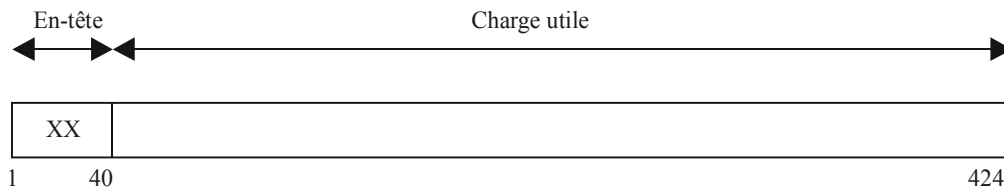


Rap 2058-37

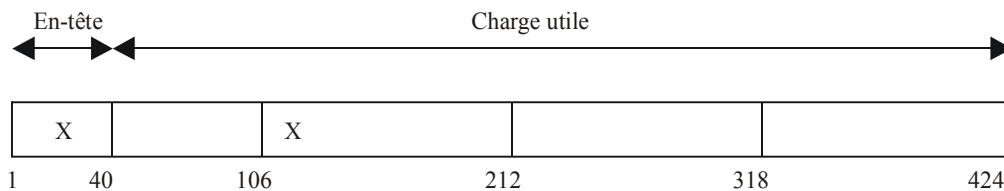
Afin d'éviter une détérioration de la protection HEC, un entrelacement des bits sera appliqué (voir la Fig. 38). Ce processus permet de fractionner les bits consécutifs dans l'en-tête et la charge utile à l'intérieur de la cellule. Il s'ensuit une fragmentation des bits d'erreur consécutifs dans l'en-tête et la charge utile, ce qui permettra d'obtenir une erreur binaire dans l'en-tête et d'améliorer la probabilité d'une correction efficace des erreurs. Sur la Fig. 38, la cellule est divisée en quatre, avec modulation MDP-4 à codage différentiel.

FIGURE 38

Entrelacement des bits à l'intérieur d'une cellule ATM



Séquence du signal 1, 107, 213, 319, 2, 108, 214, 320



Rap 2058-38