Union internationale des télécommunications

UIT-T

SECTEUR DE LA NORMALISATION
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS
DE L'UIT

G.9954

(02/2005)

SÉRIE G: SYSTÈMES ET SUPPORTS DE TRANSMISSION, SYSTÈMES ET RÉSEAUX NUMÉRIQUES

Réseaux d'accès – Réseaux intérieurs

Emetteurs-récepteurs de réseautage sur lignes téléphoniques – Spécifications renforcées des couches Physique, d'accès au support et de liaison

Recommandation UIT-T G.9954

RECOMMANDATIONS UIT-T DE LA SÉRIE G

SYSTÈMES ET SUPPORTS DE TRANSMISSION, SYSTÈMES ET RÉSEAUX NUMÉRIQUES

CONNEXIONS ET CIRCUITS TÉLÉPHONIQUES INTERNATIONAUX	G.100–G.199
CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES COMMUNES À TOUS LES SYSTÈMES ANALOGIQUES À COURANTS PORTEURS	G.200–G.299
CARACTÉRISTIQUES INDIVIDUELLES DES SYSTÈMES TÉLÉPHONIQUES INTERNATIONAUX À COURANTS PORTEURS SUR LIGNES MÉTALLIQUES	G.300–G.399
CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DES SYSTÈMES TÉLÉPHONIQUES INTERNATIONAUX HERTZIENS OU À SATELLITES ET INTERCONNEXION AVEC LES SYSTÈMES SUR LIGNES MÉTALLIQUES	G.400–G.449
COORDINATION DE LA RADIOTÉLÉPHONIE ET DE LA TÉLÉPHONIE SUR LIGNES	G.450–G.499
CARACTÉRISTIQUES DES SUPPORTS DE TRANSMISSION	G.600–G.699
EQUIPEMENTS TERMINAUX NUMÉRIQUES	G.700–G.799
RÉSEAUX NUMÉRIQUES	G.800–G.899
SECTIONS NUMÉRIQUES ET SYSTÈMES DE LIGNES NUMÉRIQUES	G.900–G.999
QUALITÉ DE SERVICE ET DE TRANSMISSION – ASPECTS GÉNÉRIQUES ET ASPECTS LIÉS À L'UTILISATEUR	G.1000–G.1999
CARACTÉRISTIQUES DES SUPPORTS DE TRANSMISSION	G.6000–G.6999
DONNÉES SUR COUCHE TRANSPORT – ASPECTS GÉNÉRIQUES	G.7000–G.7999
ASPECTS RELATIFS AU PROTOCOLE ETHERNET SUR COUCHE TRANSPORT	G.8000–G.8999
RÉSEAUX D'ACCÈS	G.9000–G.9999
Réseaux intérieurs	**G.9950–G.9999**

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

Recommandation UIT-T G.9954

Emetteurs-récepteurs de réseautage sur lignes téléphoniques – Spécifications renforcées des couches Physique, d'accès au support et de liaison

Résumé

La présente Recommandation définit les couches de pile de protocoles Physique, MAC, Liaison et Convergence pour le système de la Rec. UIT-T G.9954 qui possède les caractéristiques suivantes:

- débits de transmission de charge utile de couche Physique de 4 à 240 Mbit/s;
- émetteurs-récepteurs à débit adaptatif qui optimisent les débits de données et les débits d'erreur de paquet pour les conditions de canal à variation dynamique paquet par paquet;
- modulation QAM à diversité de fréquence pour communication stable sur des canaux très sélectifs en fréquence;
- coupure de spectre pour la compatibilité avec les services de radioamateurs;
- protocole MAC synchrone contrôlé par un maître choisi de façon dynamique en utilisant une combinaison de stratégies d'accès fondées sur la compétition contrôlée et l'évitement de collision;
- la prise en charge des services de données isochrones et asynchrones;
- la communication d'homologue à homologue au sein d'un réseau contrôlé par le maître;
- le mode de fonctionnement sans maître en utilisant le protocole MAC asynchrone de type G.9951/2;
- l'agrégation de paquet (paquétisation) effectuée au sein de la couche de pile de protocoles de G.9954 jusqu'aux limites de délai de latence du flux de service et de la bande passante de transmission disponible;
- les garanties de qualité de service pour la bande passante, la gigue, le délai de latence et le BER;
- la prise en charge de la qualité de service pour les services ayant des spécifications explicites de trafic et de débit fournissant une couche de liaison convenant pour les flux audio et vidéo;
- des couches de convergence spécifiques des protocoles;
- une compatibilité amont avec la Rec. UIT-T G.9951/2, permettant des transmissions aux débits compatibles avec les modes de G.9951/2;
- la coexistence et l'interopérabilité entre les appareils G.9951/2 et G.9954 dans un réseau mixte;
- la compatibilité avec les autres services sur ligne téléphonique tels que ceux de téléphonie traditionnelle, V.90, RNIS, G.992.1, G.992.2, G.992.3 et G.992.4;
- la gestion locale et à distance des appareils G.9954;
- des dispositions pour des extensions futures pour la sécurité.

Source

La Recommandation UIT-T G.9954 a été approuvée le 13 février 2005 par la Commission d'études 15 (2005-2008) de l'UIT-T selon la procédure définie dans la Recommandation UIT-T A.8.

AVANT-PROPOS

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

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

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

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

NOTE

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

Le respect de cette Recommandation se fait à titre volontaire. Cependant, il se peut que la Recommandation contienne certaines dispositions obligatoires (pour assurer, par exemple, l'interopérabilité et l'applicabilité) et considère que la Recommandation est respectée lorsque toutes ces dispositions sont observées. Le futur d'obligation et les autres moyens d'expression de l'obligation comme le verbe "devoir" ainsi que leurs formes négatives servent à énoncer des prescriptions. L'utilisation de ces formes ne signifie pas qu'il est obligatoire de respecter la Recommandation.

DROITS DE PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

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

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

© UIT 2006

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

TABLE DES MATIÈRES

		Page
1	Domaine d'application	1
2	Références normatives	1
3	Termes et définitions	1
4	Abréviations et acronymes	4
5	Introduction	5
	5.1 Aperçu général sur la pile de protocoles G.9954	5
	5.2 Modèle de référence du réseau	9
	5.3 La pile de protocoles	11
6	Spécification de la couche PHY	14
	6.1 Aperçu général	14
	6.2 Modèle de référence de l'émetteur	14
	6.3 Tramage	15
	6.4 Embrouilleur	21
	6.5 Codeur de constellation	22
	6.6 Modulateur QAM/FDQAM	30
	6.7 Exigences minimales pour les appareils	30
	6.8 Spécification électrique de l'émetteur	31
	6.9 Spécification électrique du récepteur	36
	6.10 Impédance d'entrée	40
7	Spécification du protocole d'accès au support	42
	7.1 Modes de fonctionnement	43
	7.2 Mode de fonctionnement MAC asynchrone	45
	7.3 Fonctionnement du mode MAC synchrone	57
	7.4 Agrégation de paquet	76
8	Spécification de la compatibilité	78
	8.1 Compatibilité spectrale avec d'autres services sur le même câble	78
	8.2 Coexistence et interopérabilité avec les nœuds G.9951/2 et AMAC	78
	8.3 Détection de nœuds G.9951/2	78
	8.4 Exigences du maître dans un réseau mixte	79
	8.5 Transmissions vers des nœuds G.9951/2	80
	8.6 Coexistence de modes MAC synchrone et asynchrone	80
9	Qualité de service de G.9954	86
	9.1 Description générale	86
	9.2 Paramètres de flux de service et de qualité de service	87
	9.3 Classement du trafic de couche convergence	92
	9.4 Protocole de signalisation de flux	93
	9.5 Contrôle d'admission	94
	9.6 Prise en charge de la qualité de service en mode AMAC	94

Page

10 Spécification du protocole de couche Liaison 95
10.1 Aperçu général 95
10.2 Format de base de trame de couche Liaison 97
10.3 Trames de contrôle de couche Liaison 99
10.4 Fonction de contrôle de négociation de débit 101
10.5 Fonction d'intégrité de liaison 115
10.6 Annonce de capacité et d'état 117
10.7 LARQ: protocole de demande de répétition automatique limitée 126
10.8 Formats spécifiques du fabricant 140
10.9 Protocole de certification et de diagnostics de PNT 141
10.10 Extensions de mise en trame de couche Liaison 160
10.11 Codage Reed Solomon avec entrelacement intratrame (facultatif) 166
10.12 Protocole de gestion des collisions 174
10.13 Protocole de mise en rafale de trame 179
10.14 Synchronisation de cycle MAC 182
10.15 Protocole de contrôle d'admission au réseau (enregistrement) 185
10.16 Protocole de choix du maître 192
10.17 Protocole de signalisation de flux 198
10.18 Message Indication de rapport d'horodatage (facultatif) 218

Annexe A – Interface mécanique (MDI) 221
A.1 Connecteur MDI 221

Annexe B – Boucles d'essai de réseau 222
B.1 Modèle de câblage 222
B.2 Boucles d'essai 223

Appendice I – Couches de convergence 226
I.1 Aperçu général 226
I.2 Primitives de couche Convergence 227
I.3 Architecture de couche convergence 234
I.4 Déclenchement d'établissement de flux 235
I.5 Classement 235
I.6 Interfaces de couche convergence avec les couches de protocole supérieures 236
I.7 Couches de convergence spécifiques de protocole 236

Appendice II – Recommandations pour l'interface indépendante du support (MII) 237
II.1 Aperçu général sur l'interface MII 237
II.2 G.9951/2 Recommandations de signalisation 239
II.3 Couche convergence "externe" de G.9954 242

Page

Appendice III – Architecture de bout en bout 243
III.1 Pile de protocoles de G.9954 à G.9954 243
III.2 Interface Ethernet – PNT 244
III.3 Pile de protocoles d'USB à G.9954 245
III.4 Pile de protocoles d'IEEE 1394 à G.9954 245
III.5 Pile de protocoles DOCSIS à G.9954 247
Appendice IV – Synchronisation du réseau 248
IV.1 Exigences de synchronisation 248
IV.2 Modèle de synchronisation de réseau 249
IV.3 Résumé des mécanismes de synchronisation 251
Appendice V – Prise en charge des flux à débit binaire variable (VBR) 252
V.1 Demande de bande passante cycle par cycle 252
V.2 UGS + Opportunité de transmission partagée 252
V.3 UGS + Demande de bande passante explicite 252
V.4 UGS + Bande passante en réserve 253
Appendice VI – Paramètres de qualité de service (QS) 254
Appendice VII – Profils d'essai d'applications simultanées 257
Appendice VIII – Lignes directrices pour la planification de l'accès au support 258
VIII.1 Gestion des ressources 258
VIII.2 Allocation et affectation des ressources du support 258
VIII.3 Gestion de la taille des rafales 258
VIII.4 Gestion de la longueur du cycle MAC 259
VIII.5 Régulation de mise en forme du trafic 259
VIII.6 Contrôle du délai de latence et de la gigue 259
VIII.7 Génération du plan MAP 260
BIBLIOGRAPHIE 261

Recommandation UIT-T G.9954

Emetteurs-récepteurs de réseautage sur lignes téléphoniques – Spécifications renforcées des couches Physique, d'accès au support et de liaison

1 Domaine d'application

La présente Recommandation spécifie l'interopérabilité et la compatibilité pour les stations conformes à la Rec. UIT-T G.9954. Les prescriptions sont établies dans la perspective d'un émetteur conforme, bien que certaines prescriptions minimales de performances soient établies pour les récepteurs. La présente Recommandation ne spécifie pas d'implémentation.

La structure de la présente Recommandation est la suivante:

- **Paragraphe 6: Spécification de la couche Physique** – Le présent paragraphe spécifie la couche Physique des appareils conformes à G.9954.
- **Paragraphe 7: Spécification du protocole d'accès au support** – Le présent paragraphe spécifie le protocole d'accès au support des appareils conformes à G.9954, y compris les modes de fonctionnement MAC asynchrone et synchrone.
- **Paragraphe 8: Spécification de compatibilité** – Le présent paragraphe décrit la méthode par laquelle la compatibilité amont, la coexistence et l'interopérabilité avec les nœuds G.9951/2 sont réalisées dans un réseau mixte de nœuds G.9951/2 et G.9954.
- **Paragraphe 9: Qualité de service** – Le présent paragraphe décrit le cadre de la qualité de service de G.9954.
- **Paragraphe 10: Spécification du protocole de liaison des données** – Le présent paragraphe spécifie les fonctions de contrôle nécessaires pour la couche de liaison.

2 Références normatives

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

[1] Recommandation UIT-T G.989.1 (2001), *Emetteurs-récepteurs de réseautage sur lignes téléphoniques – Principes fondamentaux*.

[2] Recommandation UIT-T G.989.2 (2001), *Emetteurs-récepteurs de réseautage sur lignes téléphoniques – Prescriptions de format de charge utile et de couche Liaison*.

[3] Recommandation UIT-T G.989.3 (2003), *Emetteurs-récepteurs de réseautage sur lignes téléphoniques – Fonction d'isolation*.

3 Termes et définitions

La présente Recommandation définit les termes suivants:

3.1 mode AMAC: méthode d'accès au support utilisée par un appareil conforme à G.9954 lorsqu'il fonctionne dans un réseau qui ne contient pas de maître.

3.2 BACKOFF20: séquence de 20 symboles utilisée pour signaler les intervalles d'attente, consistant en la séquence de TRN16 suivie de la séquence de fin de fichier.

3.3 signal BACKOFF20: séquence de symbole que les émetteurs récepteurs actifs peuvent envoyer dans les trois intervalles de signaux qui suivent une collision. Il est utilisé dans l'algorithme de niveau d'attente distribué.

3.4 attente exponentielle binaire (BEB, *binary exponential backoff)*: méthode de la norme IEEE 802.3 pour la résolution de collision.

3.5 DFPQ limitée: méthode de résolution de collision fondée sur une mise en file d'attente distribuée par priorité (DFPQ), où le cycle de résolution des collisions est limité à une opportunité de transmission.

3.6 paquet de diffusion: paquet avec toutes les adresses de destination mises à un (FF.FF.FF.FF.FF.FF).

3.7 annonce de capacité et d'état: protocole de commande de couche de liaison utilisé pour alimenter les informations d'état entre des stations à faible redondance.

3.8 fragment de collision: séquence de transmission fixée consistant en un préambule, un en-tête de trame, DA, SA, ET et EOF.

3.9 période de compétition: période d'accès au support dans laquelle les appareils sont en compétition pour l'accès au support en utilisant la CSMA/CD fondée sur la priorité et les techniques de résolution de collision.

3.10 période sans compétition: période d'accès au support, allouée à un seul appareil de réseau, dans laquelle ne devraient (normalement) pas survenir de compétition pour l'accès au support ni de collision.

3.11 couche de convergence: une sous-couche spécifique du protocole de cette couche transpose les protocoles de couche Transport en primitives originales de la couche Liaison de G.9954.

3.12 CS_IFG: quantité minimale de silence du support qui doit être garantie entre des rafales de trames consécutives.

3.13 identificateur d'appareil: identifiant unique alloué à un appareil G.9954 par le maître après enregistrement.

3.14 point d'extrémité: appareil G.9954 qui n'est pas le maître.

3.15 séquence de fin de fichier: séquence de quatre symboles ajoutée à la trame de couche Physique, qui est constituée des quatre premiers symboles de la séquence TRN.

3.16 flux: flux de données unidirectionnel entre les nœuds de réseau caractérisé par du trafic avec des paramètres de qualité de service bien définis pour le débit, le délai de latence, la gigue et le BER.

3.17 ID de flux: identifiant unique d'un flux entre appareil de source et appareil de destination.

3.18 signalisation de flux: protocole de couche Liaison de G.9954 utilisé pour établir, modifier et supprimer les flux.

3.19 spécification de flux: spécification des caractéristiques d'un flux selon son trafic de QS et ses paramètres de débit.

3.20 G.995x: référence générale à la technologie PNT actuelle.

3.21 G.9954: référence pour la technologie PNT améliorée proposée dans la présente Recommandation.

3.22 gigue: mesure de la variation de délai de latence au-dessus et au-dessous de la valeur moyenne de latence. La gigue maximale est définie comme la variation de latence maximale au-dessus et au-dessous de la valeur de latence moyenne et est exprimée par (+Max/–Min).

3.23 latence: mesure du délai à partir du moment où un paquet atteint le point d'accès du service de la pile de protocoles PNT jusqu'à l'émission réussie du dernier bit du paquet sur le câble. Les mesures de la latence moyenne et maximale sont supposées calculées sur le 99e centile de toutes les mesures de latence.

3.24 intégrité de liaison: processus de base qui déduit d'une indication de l'utilisateur que l'interface est rattachée à la ligne téléphonique et peut détecter une autre station.

3.25 priorité de niveau de liaison: classe de priorité logicielle associée au paquet de couche Liaison. Cette valeur peut être transposée lors de la conversion de/en priorité PHY.

3.26 cycle MAC: période d'accès au support entre deux transmissions consécutives de la trame de commande MAP.

3.27 MAP: trame de commande qui décrit le plan d'accès au support pour le cycle MAC suivant.

3.28 MAP_IFG: quantité de silence du support entre deux rafales de trames utilisée par le maître dans la planification d'accès au support et publiée dans la trame de commande de MAP.

3.29 maître: appareil G.9954 qui a les capacités d'être maître et a été choisi comme maître actif actuel. Le maître est responsable du contrôle du mode de fonctionnement MAC synchrone en planifiant le déroulement de l'accès au support sur le réseau et en publiant périodiquement le plan d'accès au support auprès de tous les appareils du réseau.

3.30 réseau commandé par un maître: réseau qui contient un appareil G.9954 qui joue le rôle de maître. L'accès au support par des appareils G.9954 dans un réseau commandé par un maître est effectué conformément aux règles SMAC d'accès au support.

3.31 réseau sans maître: réseau qui ne contient pas d'appareil jouant actuellement le rôle de maître. Dans un réseau sans maître, l'accès au support des appareils G.9954 est effectué conformément aux règles AMAC d'accès au support.

3.32 agrégation de paquet: enchaînement des paquets de couche Transport et Liaison dans une seule rafale de trame physique.

3.33 codage de charge utile: codage du gabarit spectral, du débit de symboles et de la constellation (bits par symbole) des bits de la charge utile.

3.34 priorité PHY: ce sont les trois bits de priorité absolue utilisés par la commande d'accès G.9951/2 pour classer la préférence attachée aux trames qui attendent d'être émises sur le canal. La priorité 7 a la préférence sur la priorité 0.

3.35 PNT: référence générale aux émetteurs-récepteurs de réseautage sur ligne téléphonique, et spécialement aux séries de Recommandations UIT-T G.995x.

3.36 préambule: séquence de signal fixée qui est ajoutée au début de la trame de couche Physique. Il consiste en quatre copies de la séquence TRN.

3.37 intervalle de priorité: un des huit intervalles suivant l'IFG (d'une transmission valide ou d'une collision) qui sont utilisés pour implémenter la priorité d'accès.

3.38 contrat de qualité de service: contrat définissant un ensemble de paramètres de flux de qualité de service négociée entre des appareils impliqués dans un flux. Un contrat de QS est négocié entre les appareils aux points d'extrémité d'un flux afin d'établir les contraintes de mémoire tampon et de canal (BER/PER). Un contrat de QS est négocié entre les appareils source et maître du flux afin de définir les contraintes de bande passante, de délai de latence et de gigue.

3.39 enregistrement: processus utilisé par un appareil de réseau G.9954 pour informer le maître de réseau en activité de son existence et de son intention de négocier à l'avenir des contrats de QS.

3.40 mode SMAC: mode d'accès au support utilisé dans un réseau commandé par un maître.

3.41 marge de système: ensemble de valeurs pour les niveaux de dégradation auxquels un récepteur ne doit pas dépasser un taux d'erreurs de trame spécifié sur une boucle d'essai donnée.

3.42 opportunité de transmission: intervalle de temps du support, avec un temps de début et une durée distincts par rapport au début du MAP, qui peut être utilisé par un appareil PNT pour la transmission de trames.

3.43 TRN16: séquence QPSK blanche d'amplitude constante à 16 symboles qui est utilisée dans le préambule de couche Physique.

3.44 trame CS valide: description du signal d'émission minimal qui devrait être acceptable pour les implémentations d'explorateur de la porteuse et la détection de collision.

4 Abréviations et acronymes

La présente Recommandation utilise les abréviations suivantes:

ADSL ligne d'abonné numérique asymétrique (*asymmetric digital subscriber line*)

AMAC protocole MAC asynchrone (*asynchronous MAC protocol*)

BER taux d'erreur binaire (*bit error rate*)

BPS bits par symbole

CBR débit binaire constant (*constant bit rate*)

CFTXOP TXOP sans compétition (*contention-free TXOP*)

CR résolution de collision (*collision resolution*)

CS_IFG intervalle intertrames de détection de porteuse (*carrier-sense IFG*)

CSMA/CD accès multiple avec détection de porteuse et de collision (*carrier sense multiple access with collision detection)*

CTXOP TXOP avec compétition (*contention TXOP*)

DFPQ file d'attente à priorité de distribution équitable (*distributed fair priority queuing*), méthode de G.9951/2 améliorée pour la résolution des collisions (voir BEB)

DOCSIS spécification d'interface du service de transmission de données par câble (*data-over-cable system interface specification*)

FDQAM modulation d'amplitude en quadrature à diversité de fréquences (*frequency diverse QAM*)

FEC correction d'erreur directe (*forward error correction*)

G.9951/2 appareil acceptant le protocole de la Rec. UIT-T G.9951/2

G.9954 appareil acceptant le protocole de la Rec. UIT-T G.9954

HCS séquence de vérification d'en-tête (*header check sequence*) (contrôle de redondance cyclique sur 8 bits couvrant les portions des champs d'en-tête et d'adresse Ethernet)

ICG intervalle intercycles (*inter-cycle Gap*)

IFG intervalle intertrames (*inter-frame Gap*)

LARQ demande de répétition automatique limitée (*limited automatic repeat request*) (protocole pour la correction d'erreur de bruit d'impulsion)

MAP_IFG intervalle IFG de plan d'accès au support (*media access plan IFG*)

MII interface indépendante du support (*media independent interface*) (définie par la clause 22 de la norme 802.3 de l'IEEE)

MPDU unité de données protocolaire de commande MAC (*MAC protocol data unit*)

NEXT paradiaphonie (*near-end crosstalk*)

NID dispositif d'interface réseau (*network interface device*), appareil de protection de la ligne d'abonné installé à la limite entre la boucle d'abonné et le câblage interne des locaux

PAR rapport entre crête et moyenne (*peak to average ratio*)

PDU unité de données protocolaire (*protocol data unit*)

PE codage de charge utile (*payload encoding*)

PNT émetteur-récepteur de réseau des lignes téléphoniques (*phoneline networking tranceiver*)

QAM modulation d'amplitude en quadrature (*quadrature amplitude modulation*)

RG passerelle domestique (*residential gateway*)

RSVP protocole de réservation de ressource (*resource reservation protocol*)

RTC réseau téléphonique commuté (*plain old telephone service*), se réfère aux services téléphoniques utilisant la bande de 0 à 4 kHz de la ligne téléphonique

Self-NEXT paradiaphonie pour d'autres systèmes du même type (*near-end crosstalk from other systems of the same type*)

SI initialisation de l'embrouilleur (*scrambler initialization*)

SMAC protocole MAC synchrone (*synchronous MAC protocol*)

SP fournisseur de service (*service provider*)

TXOP opportunité de transmission (*transmission opportunity*)

USB bus série universel (*universal serial bus*)

UTXOP opportunité de transmission non affectée (*unallocated TXOP*)

VBR débit binaire variable (*variable bit rate*)

5 Introduction

5.1 Aperçu général sur la pile de protocoles G.9954

La pile de protocoles G.9954 est une pile de protocoles intégrée qui traite les couches PHY, Liaison des données, convergence et gestion. La pile de protocoles G.9954 prend en charge aussi bien les modes de fonctionnement MAC synchrones et asynchrones. Le mode de fonctionnement MAC asynchrone est le même que celui défini pour le protocole MAC de G.9951/2 bien qu'il utilise une gamme plus large de débits de symboles et de codages de constellations. Le mode MAC synchrone est construit sur le comportement du mode MAC asynchrone et représente un super ensemble fonctionnel du mode de fonctionnement MAC asynchrone. Cela signifie qu'un nœud de réseau traitant une pile de protocoles G.9954 sait de façon inhérente comment fonctionner comme un nœud G.9951/2 originel.

Le mode MAC synchrone dépend de l'existence dans le réseau d'un appareil G.9954 capable d'assurer le rôle de maître du réseau. Un tel appareil est désigné comme l'appareil maître ou simplement le maître. Un appareil capable d'assurer le rôle de maître sur le réseau est désigné comme l'appareil capable d'être le maître. Un appareil capable d'être le maître est un appareil

G.9954 normal qui prend aussi en charge les capacités fonctionnelles qui lui permettent d'assurer le rôle de maître, en l'absence d'un maître actif sur le réseau.

Le maître est chargé du contrôle du mode de fonctionnement MAC synchrone en planifiant la distribution de l'accès au support sur le réseau et en publiant le plan d'accès au support auprès de tous les appareils du réseau. La distribution périodique est désignée sous le nom de cycle MAC. Les nœuds G.9954 fonctionnant en mode MAC synchrone sont capables de se synchroniser avec le cycle MAC périodique et minutent leurs transmissions conformément à la distribution des transmissions décrite dans le plan d'accès au support.

En présence d'un appareil maître G.9954 sur le réseau, les nœuds G.9954 fonctionnent en mode MAC synchronisé, et sinon ils fonctionnent en mode MAC asynchrone. En présence de nœuds G.9951/2, les nœuds G.9954 continuent à fonctionner en mode MAC synchrone en présence d'un maître, cependant, ils modifient aussi leur mode de fonctionnement de telle sorte qu'ils soutiennent la coexistence et l'interopérabilité avec les appareils G.9951/2 qui fonctionnent en mode MAC asynchrone sur le réseau. Ce sous-mode est développé plus loin dans le paragraphe 8 ci-dessous.

5.1.1 Mode de compatibilité et d'interopérabilité

Le protocole G.9954 est compatible en amont avec le protocole MAC G.9951/2.

La compatibilité est fournie en se conformant à la distribution et au comportement du protocole G.9951/2 et en utilisant un format de trame qui soit compatible en amont avec le format de trame de G.9951/2. En fait, pour un nœud G.9951/2 d'origine, les transmissions de G.9954 apparaissent, sur le câble, comme des transmissions normales de G.9951/2, bien qu'avec des débits de symboles de charge utile qui pourraient n'être pas pris en charge par l'appareil G.9951/2.

5.1.2 Mode MAC synchrone

De façon inhérente, le protocole MAC de G.9954 est un protocole MAC synchrone qui coordonne l'accès au support sous le contrôle du maître. Le protocole est synchrone dans le sens où tous les nœuds G.9954 du réseau sont synchronisés avec un cycle MAC périodique et les transmissions sont préplanifiées et distribuées de façon adéquate.

Le protocole MAC synchrone de G.9954 sert à prendre en charge différentes sortes de services, y compris des services de données asynchrones au mieux et des services en flux isochrones à débit binaire constant ou variable comme ceux demandés par la téléphonie, les services audio ou vidéo.

Dans un environnement G.9954 d'origine, où l'accès au support est préplanifié, la stratégie d'évitement de collision (CA) est utilisée durant les opérations normales de transfert de données. L'évitement de collisions joint à l'agrégation de paquets permet une utilisation plus efficace du support et fournit l'infrastructure de prise en charge des garanties de qualité de service.

Le protocole MAC synchrone de G.9954 accepte le passage vers d'autres protocoles synchrones, tels que l'IEEE 1394, l'USB, etc., et vers des protocoles d'accès au haut débit, tels que DOCSIS et IEEE 802.16, en utilisant la couche de convergence de protocole. De plus, le modèle de réseau à contrôle par maître, utilisé dans le MAC G.9954 est un modèle naturel pour les réseaux d'accès à haut débit et est bien adapté à une architecture contenant une passerelle domestique (RG, *residential gateway*).

5.1.3 Qualité de service

La prise en charge de la qualité de service par le MAC G.9951/2, fondé sur les classes de priorité à huit niveaux, fournit un mécanisme de qualité de service de base pour une différentiation entre différentes sortes de services. Ce mécanisme est compatible avec les recommandations de l'IEEE 802.1D et le marquage de priorité de VLAN (IEEE 802.1P) et les bits PRECEDENCE définis dans l'interprétation originale du champ Type de service (TOS, *type of service*) se trouvant dans un paquet IP qui utilise le protocole de services différentiés (Diffserv).

Cependant, pour fournir la qualité de service garantie, G.9954 apporte un mécanisme compatible avec les protocoles de type RSVP qui spécifient des paramètres explicites de trafic et de débit pour un service et non pas simplement une mise en ordre relative des paquets.

Le mécanisme de qualité de service de G.9954 est fondé sur le concept de flux, qui représente un flux unidirectionnel de données entre les nœuds de réseau appuyé sur des paramètres de qualité de service bien définis, permettant un contrôle strict des paramètres de débit, de temps de latence, de gigue et de BER du réseau.

Les flux sont établis et supprimés service par service. Les sous-couches contrôle de couche de liaison (LLC) et MAC de G.9954 sont chargées de la planification de la transmission des paquets sur les flux de sorte que soient respectés les paramètres respectifs de trafic et de qualité de service. La bande passante est réservée pour un flux durant sa durée de vie et ceci est reflété par le plan d'accès au support (MAP, *media access plan*) préparé par le nœud G.9954 maître. Les exigences de bande passante pour un flux peuvent aussi être modifiées tout au long de sa durée de vie afin de prendre en charge de façon plus efficace les changements d'exigences de bande passante qui sont caractéristiques des flux de données en rafale et à débit binaire variable (VBR, *variable bit-rate*).

Il est de la responsabilité de la sous-couche convergence de transposer les flux de données entrants dans les flux appropriés afin de satisfaire aux exigences de qualité de service.

Les flux peuvent être établis automatiquement sur invocation du service, ou bien ils peuvent être établis au moment de l'initialisation, conformément à une spécification prédéfinie (par exemple, au titre de la couche convergence) ou à des données de configuration. Les flux peuvent de la même façon être supprimés automatiquement sur détection d'inactivité afin de libérer les ressources réseau associées au flux.

5.1.4 Performances

Le protocole G.9954 améliore les performances du protocole G.9951/2 en évitant les collisions (pas de cycle de résolution de collisions) et en prenant en charge l'agrégation de multiples unités de données protocolaires MAC (MPDU, *MAC protocol data unit*) en une seule rafale (trame) de couche Physique.

Les gains de performances ci-dessus se rapportent au protocole MAC de G.9954 lui-même et des gains de performances et avantages ultérieurs peuvent être espérés dans les implémentations elles-mêmes.

5.1.5 Interfaces et protocoles externes

Le protocole G.9954 prend en charge les interfaces et le passage vers des protocoles externes à travers la sous-couche convergence dans la pile de protocoles. La sous-couche convergence de protocole particulière à utiliser est définie par un paramètre de configuration ou directement par l'interface de gestion.

Il est de la responsabilité de la sous-couche de convergence de transposer dans les *flux* appropriés les paquets de données qui arrivent d'une interface particulière pour le service de données particulier.

Les flux définis pour une sous-couche de convergence particulière peuvent être établis à l'enregistrement de l'appareil ou à la demande. Le trafic de flux et les paramètres de débit peuvent être prédéfinis pour le protocole ou peuvent être définis comme paramètres de configuration dans une mémoire non volatile. De même, les flux peuvent être établis et configurés par des opérations de gestion effectuées par un hôte externe ou distant.

La pile de protocoles de G.9954 ne suppose pas l'existence d'un processeur hôte externe et est capable de servir d'interface directement, dans le matériel, avec un processeur externe, qui peut fonctionner avec un protocole différent. Dans cette configuration, la sous-couche de convergence de protocole est supposée corésider avec les couches MAC et de liaison dans un processeur G.9954

intégré. Autrement, la sous-couche de convergence de G.9954 peut effectivement fonctionner, partiellement ou en totalité, sur un processeur hôte externe. La sous-couche de convergence peut aussi inclure des fonctions/tableaux de passage d'adresse.

Les protocoles externes visés dans la description de la sous-couche de convergence de G.9954 incluent les protocoles IEEE 802.3/Ethernet et le protocole Internet (IP, *Internet protocol*). De plus, la prise en charge de l'USB et de l'IEEE 1394 par la couche de convergence est considérée comme importante pour les candidats protocoles pour le transport sur G.9954. Il en est de même pour les interfaces vers les protocoles d'accès à haut débit, tels que DOCSIS et peut-être aussi des protocoles d'accès sans fil, tels que IEEE 802.11 et IEEE 802.16. On suppose que les flux de transport vidéo MPEG sont transportés sur IP/Ethernet ou comme MPEG-TS (flux de transport).

Le mappage et la convergence de protocoles à un niveau explicite de la pile de protocoles permet une synchronisation graduelle entre les réseaux externe et interne. Ceci est décrit plus en détails à l'Appendice III ci-après. De plus, étant donné que la qualité de service est définie dans des termes similaires à ceux du réseau externe, cela prend en charge l'extension des méthodes de qualité de service des réseaux externes au réseau interne.

5.1.6 Sécurité et confidentialité

Un nœud de réseau G.9954 doit s'enregistrer auprès du maître afin de se connecter au réseau et débuter le transfert des données. Ce processus d'admission au réseau peut être étendu pour fournir une autorisation de base et la prise en charge de la confidentialité.

Une liste d'autorisations d'appareil peut figurer dans le fichier de configuration du maître ou dans une base de données externe accessible depuis le côté de l'hôte externe. Cette liste d'autorisations peut définir quels appareils sont capables de se connecter au maître et obtenir l'accès au réseau et à ses ressources. L'identification des appareils est effectuée à l'aide de l'adresse MAC du matériel. L'accès au réseau peut être refusé sur la base des informations d'autorisation accessibles au maître.

La confidentialité des données peut être prise en charge à l'aide de méthodes cryptographiques. A la suite de l'autorisation, le maître peut faire tourner un protocole de gestion de clés pour distribuer une clé de chiffrement aux nœuds du réseau. Les clés de chiffrement sont transmises sur le réseau sous forme chiffrée en utilisant les méthodes de chiffrement de clé publique. Chaque paquet envoyé sur le support, sauf certains paquets de gestion, peut ultérieurement être chiffré à l'aide de la clé de chiffrement partagée.

La confidentialité peut être nécessaire en interne pour protéger des contenus domestiques de l'exposition à une collecte et surveillance non autorisées causées par la diaphonie. Le chiffrement peut être utilisé pour protéger les données dans les transmissions G.9954 plutôt que de s'appuyer sur les mécanismes de sécurité de G.9951/2 fondés sur la restriction de la sensibilité du récepteur.

La prise en charge de l'authentification et celle de la confidentialité sont des fonctionnalités facultatives, qui seront utilisées dans l'avenir.

5.1.7 Prise en charge de la gestion

Etant donné le modèle de réseau domestique fondé sur une passerelle domestique qui donne l'accès à des services livrés à domicile par un fournisseur de service, le besoin d'une capacité de gestion, de configuration, de surveillance et d'espionnage des réseaux domestiques devient d'une importance croissante.

Pour prendre en charge cette fonctionnalité, les appareils G.9954 doivent prendre en charge les fonctions de gestion suivantes:

- configurer, contrôler et surveiller tous les appareils G.9954 sur le réseau;
- fournir l'accès local et distant à tous les appareils;
- accéder à tous les appareils par l'intermédiaire de la passerelle (maître);

- utiliser un protocole fondé sur le message (fondé sur le protocole de certification et de diagnostic de G.9951/2);
- prendre en charge une structure MIB standard;
- prendre en charge des interfaces de gestion de niveau supérieur (par exemple, SNMP, HTTP, etc.).

Les facilités de gestion sont destinées à fournir l'accès aux informations de gestion suivantes:

- informations de couche PHY;
- information de réseau;
- informations et statistiques de qualité de service;
- informations sur l'appareil;
- informations de configuration;
- informations d'autorisation et de sécurité;
- informations de version.

5.2 Modèle de référence du réseau

La présente Recommandation définit le niveau de base de fonctionnalité des couches PHY, MAC, Liaison et convergence.

La première interface spécifiée est l'interface électrique côté câble et logique (W1) entre une station G.9954 et le câble téléphonique, comme indiqué à la Figure 5-1. La présente Recommandation définit les interfaces côté hôte en termes d'exemples d'interface tels que les formats de trame de niveau liaison logique, adressage et comportement de diffusion/multidiffusion de la norme IEEE 802.3. Plusieurs options existent pour les interfaces côté hôte, avec la recommandation d'interface MII décrite à l'Appendice II.

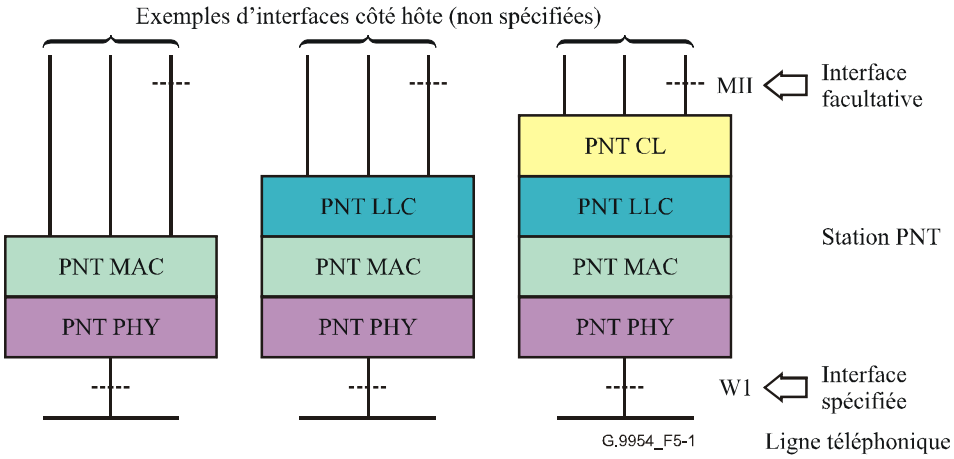

Figure 5-1/G.9954 – Interfaces

Le système PNT implémente un réseau à un seul segment à support partagé, comme indiqué à la Figure 5-2. Toutes les stations sur un segment sont connectées logiquement au même canal partagé sur la ligne téléphonique. Plusieurs segments de réseau PNT et d'autres liaisons de réseau peuvent être connectés au moyen de relais de couche 2 de réseau ISO (L2 ou Liaison des données) ou de couche 3 (L3 ou IP). Les relais de couche 1 (répéteur de couche Physique) ne sont pas définis dans la présente Recommandation.

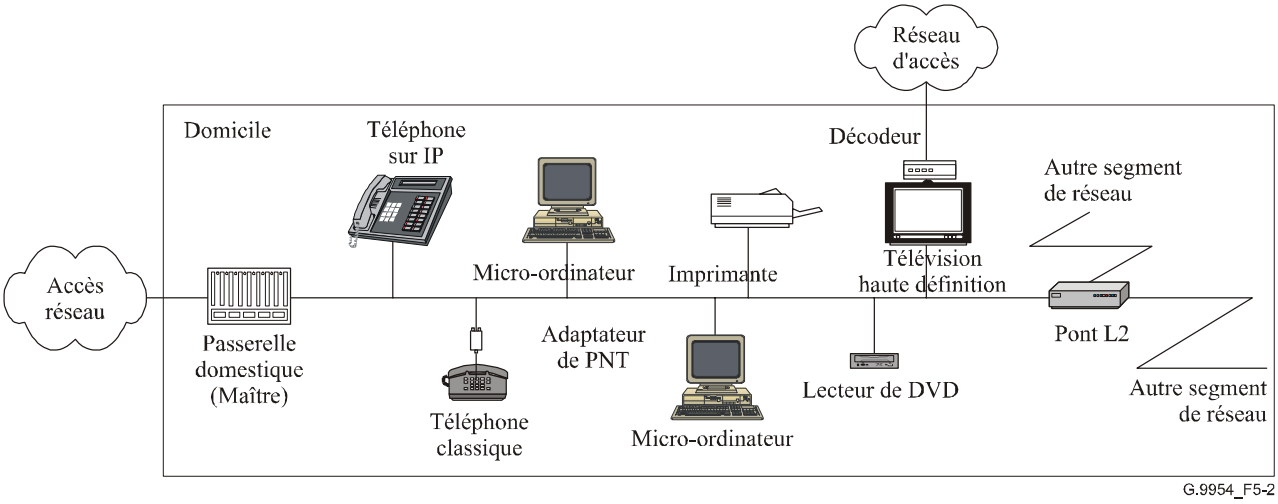

Figure 5-2/G.9954 – Segment de réseau PNT à support partagé

Comme on le voit à la Figure 5-2, le modèle de réseau G.9954 suppose un réseau domestique composé de divers types d'appareils de réseau, connectés au réseau dorsal de la ligne téléphonique domestique à support partagé. Il suppose de plus une ou plusieurs connexions haut débit à des réseaux d'accès externes, au moyen d'un ou plusieurs appareils de passerelle et des ponts possibles vers d'autres segments du réseau domestique, qui peuvent être fondés sur d'autres technologies de réseautage domestique (par exemple, sans fil, ligne électrique, câble de télévision, etc.).

Le Tableau 5-1 montre les relations du standard PNT avec le modèle de référence d'interconnexion des systèmes ouverts de l'ISO/CEI.

Tableau 5-1/G.9954 – Relations avec l'interconnexion des systèmes ouverts de l'ISO/CEI

Couches du modèle de référence OSI	Couches G.9954	
Application		
Présentation		
Session		
Transport		
Réseau		
Liaison des données		Couche de convergence
		Protocoles de couche Liaison
		Contrôle d'accès au support MAC
Physique		PHY

La norme de réseau PNT est conçue pour fonctionner comme si ce réseau était un câblage des locaux de l'utilisateur. Les topologies prévues sont des combinaisons aléatoires de câblage en étoile, en arborescence et en bus multipoint. Voir un exemple à la Figure 5-3. L'appareil d'interface réseau (NID, *network interface device*) du service de téléphonie traditionnelle est montré ici avec la boucle d'abonné externe vers la gauche, et le câblage des locaux s'étalant en "étoile" à partir du NID en plusieurs branches de câblage. Chaque branche peut avoir un ou plusieurs connecteurs modulaires à prise murale, et des extensions de câblage de longueur variable (indiquées par des doubles lignes) courent des prises murales au réseau téléphonique classique ou à l'appareil PNT de rattachement. Dans l'exemple, les stations A et B sont sur un bus; la station C est sur un second bus, qui n'est pas

terminé à son extrémité; la station E est à l'extrémité d'une ligne directe issue du NID, et les stations F et G partagent une même prise murale via un adaptateur à deux broches. Bien d'autres topologies sont possibles.

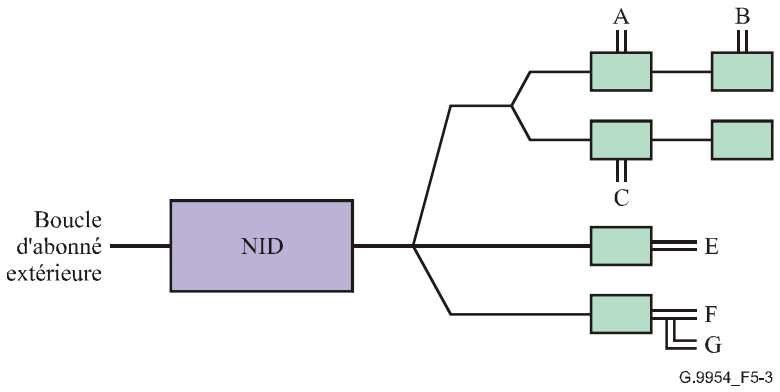

Figure 5-3/G.9954 – Topologie de câblage de référence

Le protocole G.9954 prend en charge le modèle de réseau à contrôle par maître aussi bien que celui sans maître. Le modèle de réseau à contrôle par maître suppose l'existence d'un nœud maître qui fournit la distribution sur le réseau et synchronise l'accès au support de tous les appareils du réseau G.9954. En l'absence d'un maître, le réseau est considéré comme sans maître. Le modèle de réseau sans maître est celui de G.9951/2 et ne suppose qu'un support partagé avec des appareils qui effectuent l'accès au support en utilisant le CSMA/CD (fondé sur la priorité) et les techniques de résolution de conflit.

Bien que l'accès au support soit contrôlé par le maître dans un réseau à contrôle par maître, la communication entre deux appareils ne traverse pas le maître, et plutôt, les appareils communiquent directement (d'homologue à homologue) à l'instant fixé par le maître. Tout appareil sur le réseau a la capacité d'agir comme maître, bien que ce rôle soit plus naturellement assumé par un appareil de passerelle ou de serveur.

5.3 La pile de protocoles

La pile de protocoles G.9954 fournit les services de couche 1 (PHY) et de couche 2 (Liaison des données) pour émettre et recevoir des paquets sur un support câblé utilisant les protocoles G.9951/2 et G.9954. La pile de protocoles utilisée par G.9954 est illustrée à la Figure 5-4.

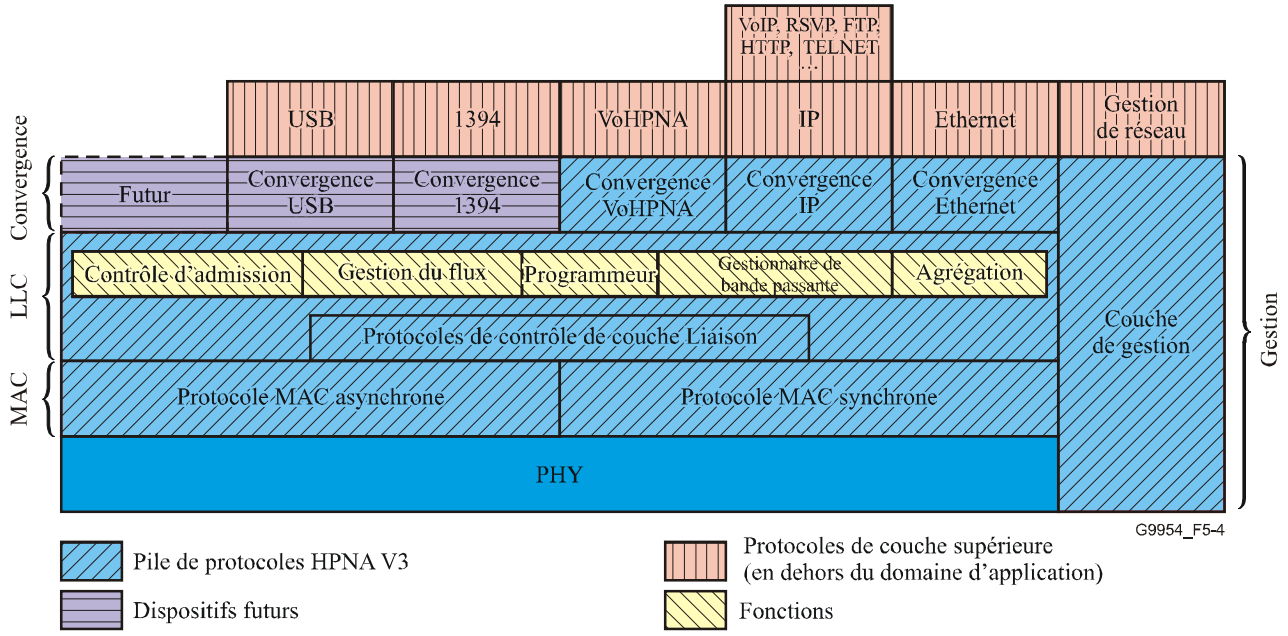

Figure 5-4/G.9954 – Pile de protocoles de G.9954

5.3.1 Couche PHY

La couche PHY fournit l'émission et la réception des trames de couche Physique en utilisant les techniques de modulation QAM et FDQAM sur le support du câble téléphonique. Elle prend en charge les débits de symbole de 2, 4, 8, 16 et 24 Mbaud avec un codage de constellation de 2 à 10 bits par symbole. Ceci fournit un débit de données de couche PHY dans la gamme de 4 à 240 Mbit/s avec un gabarit de puissance spécifique étendu de 4 à 28 MHz prenant en charge une bande passante allant jusqu'à 24 MHz.

5.3.2 Couche Liaison des données

La couche Liaison des données se compose de trois sous-couches, les couches MAC, LLC et convergence.

5.3.2.1 Sous-couche MAC de G.9954

La sous-couche MAC est chargée de la gestion de l'accès au support physique en utilisant un protocole d'accès au support. Elle utilise la couche PHY pour planifier la transmission des unités de données protocolaires MAC (MPDU) sur le support physique au sein des trames de transport de couche PHY.

La sous-couche MAC G.9954 prend en charge l'accès au support conformément à deux modes de protocoles différents – le mode asynchrone et le mode synchrone. Elle prend en charge un mode de fonctionnement asynchrone similaire à celui du protocole MAC de G.9951/2, et un mode de fonctionnement synchrone qui est défini par la présente Recommandation. Le protocole MAC asynchrone fournit un accès au support fondé sur la priorité qui utilise les techniques de CSMA/CD pour contrôler l'accès au support et un protocole de signalisation pour résoudre les collisions de média. Au contraire, le protocole MAC synchrone de G.9954 utilise les techniques de CSMA/CA, sous le contrôle du maître, pour éviter les collisions en préplanifiant la distribution de tous les accès au support.

La couche MAC en mode synchrone de G.9954 maintient un vecteur qui définit la distribution de l'accès au support planifiée par le maître. La distribution de l'accès au support est planifiée conformément aux contraintes de qualité de service pour les services réseau demandés et le plan est diffusé périodiquement à tous les nœuds G.9954. Les couches MAC G.9954 sont chargées de

garantir que tous les accès au support sont effectués conformément au plan en restreignant les transmissions aux seules opportunités de transmission (TXOP) qui leur sont allouées explicitement (ou à leurs services) par le maître, ou qui sont allouées à un groupe auquel elles appartiennent. Le maître G.9954 planifie l'accès au support jusqu'au niveau service et comme telle, une couche MAC G.9954 peut programmer des paquets en utilisant entièrement le plan du maître. Autrement, une couche MAC G.9954 est autorisée à exercer une certaine intelligence de qualité de service locale en prenant elle-même des décisions de programmation dans les limites des contraintes des opportunités de transmission TXOP qui lui sont allouées dans le MAP.

La sous-couche MAC est de plus responsable de la fourniture des informations de contrôle à la couche PHY afin de contrôler les caractéristiques physiques des données émises.

5.3.2.2 Sous-couche LLC de G.9954

La sous-couche LLC est responsable des fonctions de contrôle de liaison. En particulier, elle est responsable des informations de gestion concernant les connexions de réseau, de la mise en œuvre des contraintes de qualité de service (QS) définies pour les divers flux de données système et de la mise en place de transmissions de données fiables en utilisant la négociation de débit, les techniques de codage Reed-Solomon et les techniques de demande de répétition automatique (ARQ, *automatic repeat request*).

De plus, le protocole MAC synchrone de G.9954 exige la prise en charge de protocoles de commande de liaison supplémentaires qui gèrent les procédures d'admission de réseau et d'établissement et suppression de flux. Ces protocoles sont utilisés pour gérer les informations sur les appareils connectés et leurs flux de service associés. Les protocoles de couche Liaison interagissent avec les couches de convergence supérieures afin de signaler des événements tels que l'enregistrement d'appareils, des événements de distribution et des opérations de commande de flux.

En plus des protocoles de commande de liaison exigés par la couche MAC synchrone de G.9954, les fonctions de couche Liaison suivantes sont nécessaires: programmation, gestion de bande passante, gestion de flux, admission de réseau et agrégation de paquet.

L'agrégation de paquet sert à enchaîner des MPDU multiples, au sein d'une seule trame de couche PHY. Cette technique d'enchaînement sert à accroître la taille de la trame PHY afin de réduire la redondance globale du protocole selon les paquets. Cependant, le degré d'agrégation effectuée est fonction des exigences de délai de latence des services et de la taille de l'opportunité de transmission allouée. La sous-couche LLC est responsable de la réalisation de ce tramage et détramage et de la maximisation de la taille d'une rafale dans les limites des contraintes définies par le plan d'accès au support.

5.3.2.3 Couche de convergence

La couche de convergence est un ensemble de sous-couches spécifiques du protocole qui transpose divers protocoles de couche Transport en primitives originales de la sous-couche LLC. La sous-couche LLC fournit une interface indépendante du protocole et un cadre de qualité de service bien défini. Il est de la responsabilité de la sous-couche convergence de traduire le protocole d'origine dans ce cadre de prise en charge.

La sous-couche de convergence peut utiliser des informations spécifiques de protocole ou de configuration pour effectuer la traduction.

5.3.2.4 Couche gestion

Les couches de gestion décrites dans la pile de protocoles de la Figure 5-4 incluent à la fois les facilités de gestion de la couche Réseau et de G.9954. La gestion de couche Réseau fonctionne sur les couches Réseau et Transport, en utilisant des protocoles de gestion de niveau supérieur, tels que SNMP qui en tant que tels sont en dehors du domaine d'application de la présente Recommandation.

La gestion G.9954 inclut toutes ces facilités qui sont nécessaires pour collecter les informations auprès des couches PHY, MAC, Liaison et convergence de l'appareil G.9954 ou des appareils distants et pour exercer le contrôle sur leur fonctionnement. La gestion G.9954 prend en charge les capacités de gestion aussi bien locales que distantes. Cela signifie que les opérations de gestion peuvent être effectuées à partir d'un hôte local servant d'interface pour l'appareil G.9954 du côté hôte ou à partir d'une entité de gestion servant d'interface avec l'appareil G.9954 du côté réseau (câble) en utilisant un protocole de gestion homologue.

L'appareil G.9954 peut de même être configuré localement ou à distance. La configuration locale est effectuée soit en lisant des réglages de configuration sur une mémoire non-volatile soit sous le contrôle d'un hôte local. La configuration à distance peut être effectuée en utilisant le protocole de gestion distant, comme décrit ci-dessus, ou bien par téléchargement par le maître pendant la procédure d'admission du réseau.

6 Spécification de la couche PHY

6.1 Aperçu général

La couche PHY de G.9954 est une extension de la couche PHY de G.9951/2, qui prend en charge trois gabarits spectraux et sept débits de symboles, permettant dix combinaisons de gabarit/débit de symboles.

- Gabarit spectral n° 1: 4 à 10 MHz; 2, 4 Mbaud (comme dans G.9951/2);
- Gabarit spectral n° 2: 4 à 21 MHz; 2, 4, 8, 16 Mbaud;
- Gabarit spectral n° 3: 4 à 28 MHz; 2, 6, 12, 24 Mbaud.

Les tailles de constellation vont de 2 à 10 bits par symbole, spécifiant les débits de modulation de charge utile de couche PHY qui vont de 4 Mbit/s à 240 Mbit/s.

Les informations sont transmises en rafales sur le canal. Chaque rafale ou trame de couche Physique consiste en informations de charge utile de couche PHY encapsulées avec un préambule, en-tête et postambule PHY. La charge utile de couche PHY se réfère à la portion de la trame de niveau liaison qui est modulée au débit de la charge utile, qui est normalement plus élevé que le débit d'en-tête. Ci-après, "charge utile" se réfère à la charge utile de couche PHY, sauf mention contraire.

Ce qui suit décrit le formatage de la couche Physique.

6.2 Modèle de référence de l'émetteur

La Figure 6-1 montre le diagramme fonctionnel de l'émetteur. Il consiste en un processeur de trame, un embrouilleur de données, un transposeur de bit en symbole, et en un modulateur QAM, comme défini dans les paragraphes suivants.

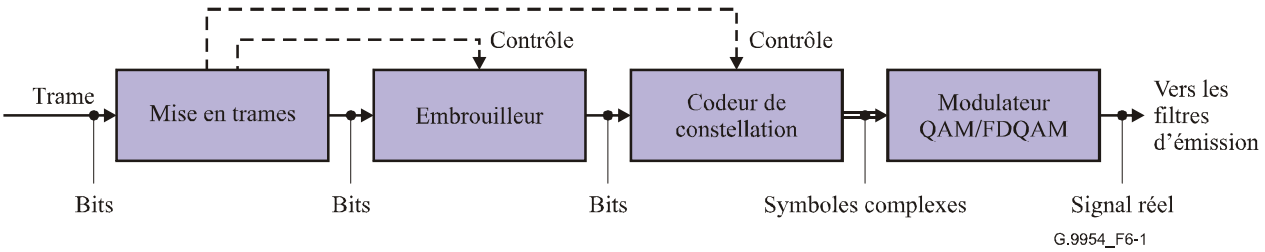

Figure 6-1/G.9954 – Diagramme fonctionnel de l'émetteur

6.3 Tramage

Le format de trame est indiqué à la Figure 6-2. Il consiste en une section d'en-tête à bas débit, une section de charge utile à débit variable, et d'une terminaison à bas débit. Certaines parties de la trame ne sont pas embrouillées, comme décrit au § 6.4.

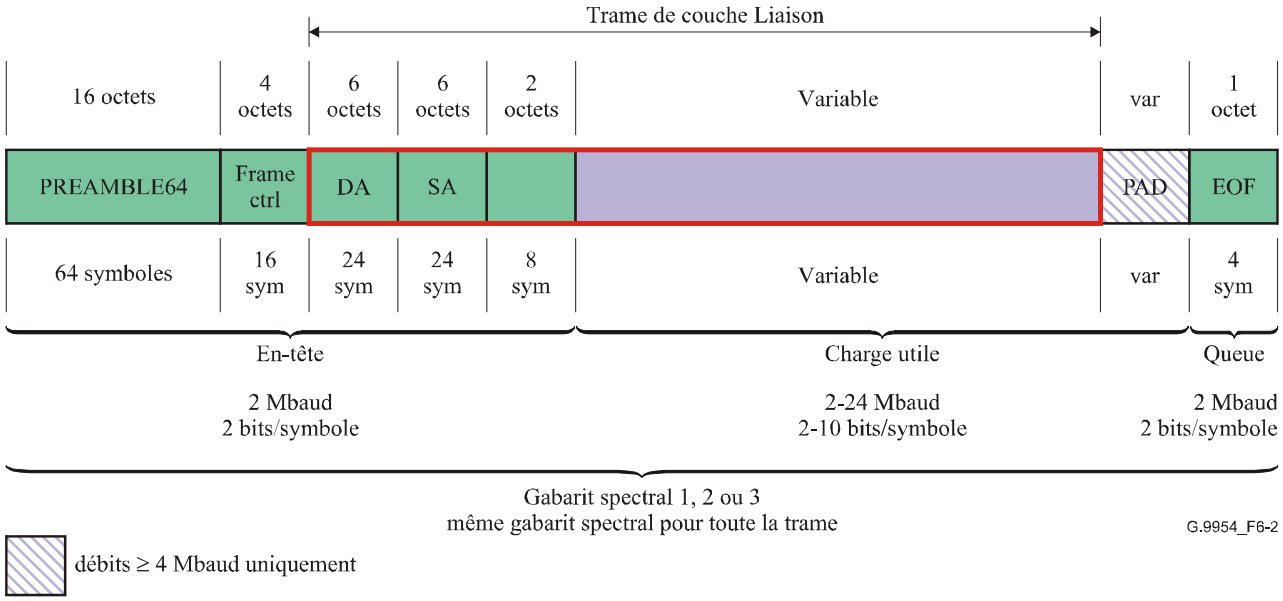

Figure 6-2/G.9954 – Format de trame PHY

L'interprétation du champ de deux octets qui suit l'adresse de source (SA) et du champ à longueur variable qui le suit est donnée par le format de trame de couche Liaison définit au § 10.

6.3.1 Ordre binaire

Excepté sur mention contraire, tous les champs sont codés avec l'octet de plus fort poids en tête, bit de plus faible poids en tête au sein de chaque octet. Le bit numéro 0 est le bit de plus faible poids dans un champ. Les diagrammes montrent les bits ou octets de plus fort poids à gauche.

6.3.2 Définition du préambule

Le PREAMBLE64 est défini comme une répétition de quatre séquences de 16 symboles (TRN16) qui résultent du codage 0xfc483084 (dans l'ordre défini au § 6.3.1) à 2 Mbaud, 2 bits par symbole, avec l'embrouilleur désactivé.

NOTE – Le TRN16 est une séquence QPSK blanche, d'amplitude constante. Le préambule a été conçu pour faciliter:

- l'estimation de puissance et le contrôle du gain;
- l'estimation du décalage du débit de symbole;
- les essais d'égaliseur;
- la détection de porteuse;
- la détection de collision.

6.3.3 Définition du contrôle de trame

Le champ de contrôle de trame est un champ de 32 bits défini au Tableau 6-1.

Tableau 6-1/G.9954 – Champs de contrôle de trame

Champ	Numéro de bit	Bits	Description
FT	31:24	8	Type de trame. 0 = trame MAC asynchrone 0x01-0x7F = réservé 0x80-0xFE = trames MAC synchrones 0xFF = réservé (Bits 31:24 décodés comme décrit ci-dessous)
SMAC	31:31	1	Trame MAC synchrone
FS	30:28	3	Sous-type de trame. 0 = trame Ethernet 1 = MAP (FT = 0x90) 2-7 = réservé pour utilisation future.
RSVD	27:24	4	Réservé. Ce champ doit être mis à zéro par l'émetteur et le récepteur doit détruire les trames ayant des valeurs différentes de zéro.
FID/PRI	23:20	4	Identifiant/Priorité de flux Si SMAC = 1, les bits 23:20 sont l'ID de flux. Si SMAC = 0, les bits 22:20 sont la priorité (0-7), le bit 23 doit être mis à zéro par l'émetteur et doit être ignoré par le récepteur.
SI	19:16	4	Initialisation de l'embrouilleur
PE	15:8	8	Codage de la charge utile
HCS	7:0	8	Séquence de vérification de l'en-tête

Et donc, avec l'ordonnancement des bits défini au § 6.3.1, les champs de contrôle de trame sont transmis dans l'ordre indiqué à la Figure 6-3.

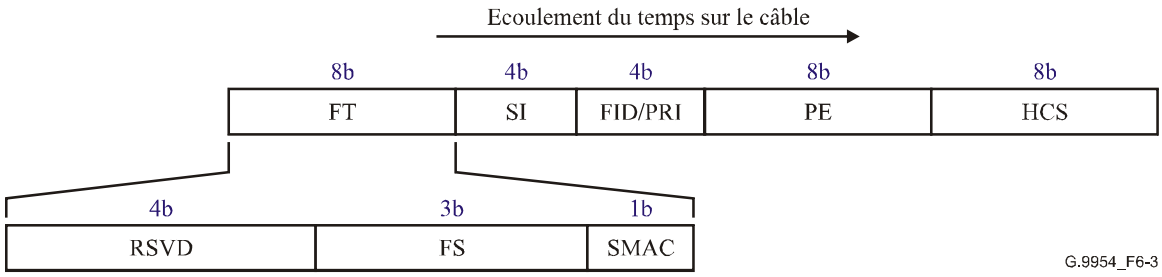

Figure 6-3/G.9954 – Ordre du champ de contrôle de trame

6.3.3.1 Type de trame

Le type de trame (FT, *frame type*) est un champ de huit bits qui sert à définir différents formats de trame. Les appareils G.9951/2 doivent mettre 0 dans ce champ, et doivent ignorer toute trame avec un FT autre qu'à zéro.

Les appareils G.9954 peuvent transmettre des trames avec FT = 0, 0x80 ou 0x90. Toutes les autres valeurs sont réservées.

Le type de trame est destiné à fournir un mécanisme de compatibilité aval, permettant aux extensions d'utiliser des formats de trame différents de ceux de G.9951/2 ou G.9954.

Le champ Format de trame est composé de sous-champs comme suit:

6.3.3.1.1 Sous type de trame (FS)

Ce champ sert à définir le sous-type de trame. Les sous-types suivants sont définis:

– 0 = Trame Ethernet;

– 1 = Trame MAP utilisée dans le protocole MAC synchrone;

– 2 à 7 Réservé pour utilisation future.

Les valeurs de sous-type de trames réservées sont destinées à être utilisées dans les versions futures pour prendre en charge les types de trames associés à d'autres couches de convergence.

6.3.3.1.2 MAC synchrone (SMAC)

Ce champ binaire sert à indiquer une trame MAC synchrone. Il sert à définir l'interprétation des champs PRI/FID en surcharge. Le bit SMAC ne doit pas être mis dans des trames envoyées à des appareils G.9951/2 ou dans des trames de diffusion/multidiffusion en présence d'appareils G.9951/2.

6.3.3.1.3 Bits réservés (RSVD)

Ce champ doit être mis à zéro par l'émetteur, et le récepteur doit détruire toute trame où ce champ est différent de zéro.

6.3.3.2 Bits d'initialisation d'embrouilleur

Ce champ de 4 bits doit être réglé à la valeur utilisée pour initialiser l'embrouilleur, comme décrit au § 6.4.

6.3.3.3 FID/PRI

L'interprétation de ce champ dépend de la valeur du champ SMAC. Lorsque SMAC = 0, l'interprétation de ce champ est la priorité de niveau PHY pour l'indication de priorité de transmission et de classe de service pour le récepteur. Lorsque SMAC = 1, l'interprétation du champ est l'identifiant de flux de classe de service associée à la trame.

6.3.3.3.1 Priorité

Priorité se réfère au mécanisme de priorité d'accès au support; voir la spécification du protocole d'accès au support au § 7. Les trois bits de la valeur de priorité PHY (PRI) se réfèrent à la priorité absolue que recevra une trame donnée lors de la détermination de l'accès au support, et c'est la valeur utilisée dans le MAC PNT. Les trames de priorité 7 doivent avoir la préférence d'accès sur la priorité 0.

PRI est un champ porté dans la transmission de trames de niveau PHY et il est destiné à indiquer une priorité de niveau PHY ou une indication de classe de service de trois bits au processeur de niveau liaison du récepteur pour la gestion de priorité et de classe de service de la trame reçue. La valeur de PRI n'est pas utilisée par le processeur PHY du récepteur.

Pour les stations qui n'implémentent pas la classe de service, le champ PRI doit être ignoré à la réception, et doit être transmis avec une valeur mise à PRI = 2.

Voir la spécification du protocole d'accès au support, fonctionnement en mode MAC asynchrone au § 7 pour une description de la façon dont les valeurs de priorité sont utilisées.

6.3.3.3.2 Identifiant de flux (FID)

Ce champ de quatre bits surcharge le champ Priorité (PRI) et sert à identifier le flux de qualité de service associé à la trame. L'interprétation de l'ID de flux n'est utilisée que lorsque la valeur du champ SMAC est 1. Le champ FID est utilisé par les processeurs de couche MAC, Liaison et convergence aussi bien dans l'émetteur que le récepteur pour gérer la qualité de service. Il n'est pas utilisé par le processeur PHY de l'émetteur et du récepteur.

Voir la spécification du protocole d'accès au support, fonctionnement en mode MAC asynchrone au § 7 pour une description de la façon dont les identifiants de flux sont utilisés.

6.3.3.4 Codage de charge utile

Ce champ détermine le gabarit spectral, le débit de symbole et le codage de constellation des bits de la charge utile. Ce champ est défini par les sous-champs suivants.

Tableau 6-2/G.9954 – Champs de codage de charge utile

Champ	Numéro de bit	Bits	Description
EBPS	7	1	Bits par symbole étendus
SM	6:5	2	Gabarit spectral
BAUD	4:3	2	Débit de symbole
BPS	2:0	3	Bits par symbole

Une *bande* est définie comme une combinaison de bauds, de type de modulation et de fréquence de porteuse.

6.3.3.4.1 Bit de bits par symbole étendus (EBPS)

L'EBPS sert à indiquer un codage étendu du champ BPS. Plus précisément, il sert à étendre l'interprétation du champ BPS lorsque EBPS=1. Ceci est décrit en détail au § 6.3.3.4.4.

6.3.3.4.2 Gabarit spectral

Les valeurs sont définies comme suit:

Tableau 6-3/G.9954 – Sous-champ gabarit spectral (SM)

Valeur de SM	Interprétation
0	Gabarit spectral n° 1 (4 à 10 MHz)
1	Gabarit spectral n° 2 (4 à 21 MHz)
2	Gabarit spectral n° 3 (4 à 28 MHz)
3	Réservé à l'émission, mise à l'écart de la trame à la réception.

Voir au § 6.8.3 les définitions des gabarits spectraux.

6.3.3.4.3 Débit de symbole

Pour le gabarit spectral n° 1, les valeurs sont définies comme suit:

Tableau 6-4/G.9954 – Débits de symboles pour le gabarit spectral n° 1

Valeur de débit de symboles	Interprétation
0	Débit de symboles = 2 MHz
1	Débit de symboles = 4 MHz
2	Réservé à l'émission, mise à l'écart de la trame à la réception.
3	Réservé à l'émission, mise à l'écart de la trame à la réception.

Pour le gabarit spectral n° 2, les valeurs sont définies comme suit:

Tableau 6-5/G.9954 – Débits de symboles pour le gabarit spectral n° 2

Valeur de débit de symboles	Interprétation
0	Débit de symboles = 2 MHz
1	Débit de symboles = 4 MHz
2	Débit de symboles = 8 MHz
3	Débit de symboles = 16 MHz

Pour le gabarit spectral n° 3, les valeurs sont définies comme suit:

Tableau 6-6/G.9954 – Débits de symboles pour le gabarit spectral n° 3

Valeur de débit de symboles	Interprétation
0	Débit de symboles = 2 MHz
1	Débit de symboles = 6 MHz
2	Débit de symboles = 12 MHz
3	Débit de symboles = 24 MHz

6.3.3.4.4 Bits par symbole

Les valeurs sont définies comme suit:

Tableau 6-7/G.9954 – Codage des bits par symbole

Valeur d'EBPS	Valeur de BPS	Interprétation
0	0	Réservé à l'émission, mise à l'écart de la trame à la réception.
0	1	2 bits par symbole
0	2	3 bits par symbole
0	3	4 bits par symbole
0	4	5 bits par symbole
0	5	6 bits par symbole
0	6	7 bits par symbole
0	7	8 bits par symbole
1	0	Constellation à 8 tours; 8 bits par symbole
1	1	Constellation à 9 tours; 9 bits par symbole
1	2	Constellation à 10 tours; 10 bits par symbole
1	3 à 7	Réservé à l'émission, mise à l'écart de la trame à la réception.

6.3.3.5 Séquence de vérification d'en-tête (HCS)

Un contrôle de redondance cyclique (CRC) sur 8 bits est calculé comme fonction de la séquence de 128 bits en ordre d'émission en débutant par les bits FT et en terminant par les bits d'adresse de source (SA) Ethernet, avec des zéros substitués au champ HCS qui n'a pas encore été calculé. Le codage est défini par le polynôme générateur suivant.

$$G(x) = x^8 + x^7 + x^6 + x^4 + x^2 + 1$$

Mathématiquement, la valeur de CRC correspondant à une trame donnée est définie par la procédure suivante:

Les 8 premiers bits de la séquence binaire d'entrée dans l'ordre d'émission sont complétés.

Les 128 bits de la séquence en ordre d'émission sont alors considérés comme étant les coefficients d'un polynôme $M(x)$ de degré 127. (Le premier bit du champ FT correspond au terme x^{127} et le dernier bit du champ SA correspond au terme x^0.)

$M(x)$ est multiplié par x^8 et divisé par G(x), produisant un reste $R(x)$ de degré ≤ 7.

$R(x)$ est multiplié par $H(x)$ pour produire $N(x)$, où $H(x)$ est défini comme $H(x) = x^7 + x^6 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$.

$N(x)$ est divisé par $G(x)$, produisant un reste $R'(x)$ de degré ≤ 7.

Les coefficients de $R'(x)$ sont considérés comme étant une séquence de huit bits.

La séquence binaire est complétée et le résultat est le CRC'.

Les 8 bits du CRC' sont placés dans le champ HCS de sorte que x^7 soit le bit de plus faible poids de l'octet et le terme x^0 soit le bit de plus fort poids de l'octet. (Les bits du CRC' sont alors transmis dans l'ordre $x^7, x^6, .. x^1, x^0$.)

Bien que le HCS soit incorporé dans le flux binaire protégé, il est calculé de telle façon que le flux résultant de 128 bits fournisse un moyen de détection d'erreur identique à ceux d'un flux de 120 bits avec ajout d'un CRC à 8 bits. La séquence résultante de 128 bits, considérés comme les coefficients d'un polynôme de degré 127, lorsque divisée par $G(x)$, produira toujours un reste égal à $x^7 + x^6 + x + 1$.

Les bits d'entrée sont non embrouillés.

Comme tous les champs couverts par le HCS sont transmis à 2 Mbaud et avec 2 bits par symbole (comme décrit au § 6.5.1), ces champs devraient être reçus correctement dans de nombreux cas lorsque la charge utile reçue est erronée. Le HCS peut être utilisé conjointement avec des statistiques d'erreur pondérées pour déterminer avec une forte probabilité si l'en-tête a été reçu correctement. Cette connaissance peut être utile pour optimiser la performance de demande ARQ et/ou d'algorithmes de négociation de débit.

6.3.4 Trame de couche Liaison

Les champs binaires suivant le champ de contrôle de trame et précédant le champ de bourrage sont définis dans la spécification de la couche Liaison de G.9954 au § 10. Les 6 premiers octets sont l'adresse de destination (DA) et les 6 octets suivants sont l'adresse de source (SA).

La présence de DA et SA dans l'en-tête à bas débit permet une détection fiable des erreurs, qui est utile pour le choix du débit.

6.3.5 Bourrage

Pour les charges utiles codées à des débits supérieurs ou égaux à 4 Mbaud, un champ *pad* (bourrage) de longueur variable consistant en un nombre entier d'octets doit être inséré. Le dernier octet du champ bourrage (PAD_LENGTH) doit être 255 (0xff) ou le nombre d'octets à zéro (0x00) précédant PAD_LENGTH, selon celui qui est inférieur. Le nombre d'octets à zéro doit assurer que

la durée minimale de la transmission, depuis le premier symbole du PREAMBLE64 jusqu'au dernier symbole du délimiteur de fin de trame, est d'au moins 92,5 µs. Pour les charges utiles de 2 Mbaud, il ne doit pas y avoir de champ de bourrage.

Un exemple de formule compatible pour la génération de PAD_LENGTH est

$$\min\left\{255, \left\lceil \frac{(92{,}5\,\mu s - 68\,\mu s - 2\,\mu s)\times \mathrm{B}\,\frac{Msymboles}{s}\times \mathrm{BPS}\,\frac{bits}{symbole}}{8\,\frac{bit}{octet}} \right\rceil - 1 - N\right\}$$

où le débit de symbole B est 4, 6, 8, 12, 16 ou 24, BPS est le nombre de bits par symbole, N est le nombre d'octets dans la partie de la trame de couche Liaison transmise dans le débit de charge utile, 68 µs est la longueur de l'en-tête, et 2 µs est la longueur de la terminaison. Si le résultat de la formule est une quantité négative, cela signifie qu'aucun bourrage n'est nécessaire.

Ceci garantit qu'un fragment de collision peut être distingué d'une trame valide par la longueur de transmission détectée par la fonction de détection de porteuse, voir au § 7.2.

6.3.6 Délimiteur de fin de trame (EOF)

La séquence de fin de trame se compose des quatre premiers symboles de la séquence TRN, ou **0xfc** codé comme 2 bits par symbole à 2 Mbaud.

Ce champ est fourni pour faciliter une détection appropriée de la fin de porteuse dans des conditions de faible SNR. Une station démodulant une trame peut utiliser ce champ pour déterminer exactement où est survenu le dernier symbole de charge utile.

6.4 Embrouilleur

L'embrouilleur est synchronisé à la trame et il est indiqué à la Figure 6-4. Il utilise le polynôme générateur suivant.

$$G(x) = x^{23} + x^{18} + 1$$

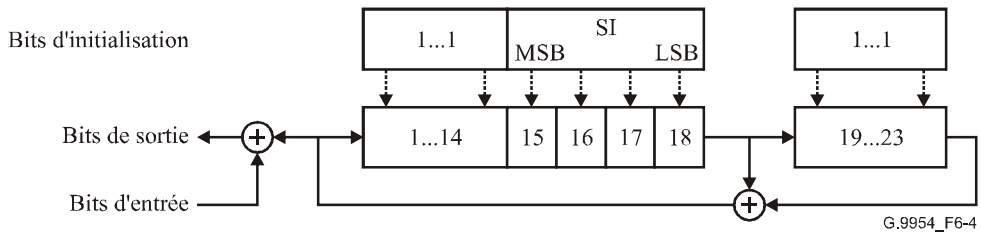

Figure 6-4/G.9954 – Embrouilleur de données

Les bits 15 à 18 du registre de glissement doivent être initialisés par un nombre pseudo-aléatoire de 4 bits. Cette valeur doit être placée dans le champ SI défini au § 6.3.3.2 dans un ordre tel que la position 15 du registre soit le MSB (bit 19 du contrôle de trame) et le bit 18 soit le LSB (bit 16 du contrôle de trame).

L'embrouilleur doit être sauté pendant le champ binaire du préambule et les 16 premiers bits du contrôle de trame. L'initialisation de l'embrouilleur doit débuter avec le 17e bit du champ de contrôle de trame.

L'embrouilleur doit être sauté après le dernier bit de la trame de couche Liaison, ou le dernier bit du champ PAD, s'il est présent. La séquence de fin de fichier ne doit pas être embrouillée.

L'utilisation d'un état d'embrouilleur initial pseudo-aléatoire procure une densité spectrale de puissance (PSD) plus uniforme mesurée sur de nombreuses trames similaires. Ceci élimine le problème des tonalités dans la PSD à partir de paquets successifs étroitement corrélés.

6.5 Codeur de constellation

6.5.1 Contrôle de codage de constellation

Tous les bits d'en-tête jusqu'à et y compris les deux premiers octets suivant le champ SA doivent être codés à 2 Mbaud, 2 bits par symbole. Si les gabarits spectraux n° 2 ou n° 3 sont utilisés, les symboles de sortie doivent être modifiés comme décrit au § 6.5.6.

En commençant par le premier bit suivant les deux octets suivant le champ SA, les bits doivent être codés conformément au champ PE, (voir le Tableau 6-2), jusqu'au dernier bit de la trame de couche Liaison, ou le dernier bit du PAD s'il est présent.

La séquence de fin de fichier doit être codée à 2 Mbaud, 2 bits par symbole. Si les gabarits spectraux n° 2 ou n° 3 sont utilisés, les symboles de sortie doivent être modifiés comme décrit au § 6.5.6.

6.5.2 Mappage de bit à symbole

Les bits entrants doivent être groupés en symboles à N bits, où N est le nombre de bits par symbole spécifié dans le champ PE. La mappage de bit à symbole est indiqué de la Figure 6-5 à la Figure 6-14. Les valeurs de symboles sont données avec les bits ordonnés de telle sorte que le bit le plus à droite est le premier bit reçu de l'embrouilleur et que le bit le plus à gauche est le dernier bit reçu de l'embrouilleur.

Toutes les constellations excepté pour les 3 bits par symbole reposent sur une grille carrée uniforme, et toutes les constellations sont symétriques par rapport aux axes réels et imaginaires.

Pour les constellations circulaires, seul le premier quadrant est indiqué et les deux bits les plus à gauche sont omis des figures. Pour ces cas, les deux bits les plus à gauche sont spécifiés à la Figure 6-5.

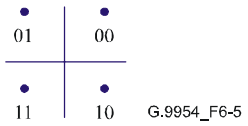

Figure 6-5/G.9954 – 2 bits par symbole

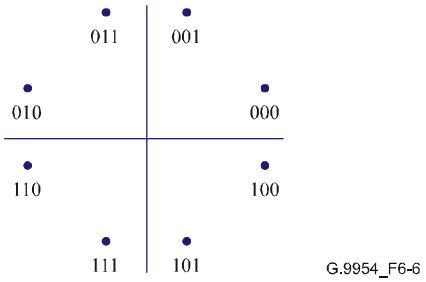

Figure 6-6/G.9954 – 3 bits par symbole

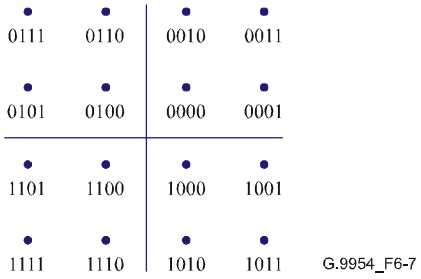

Figure 6-7/G.9954 – 4 bits par symbole

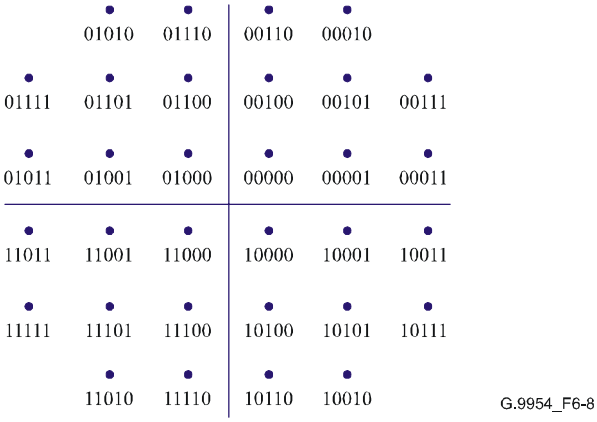

Figure 6-8/G.9954 – 5 bits par symbole

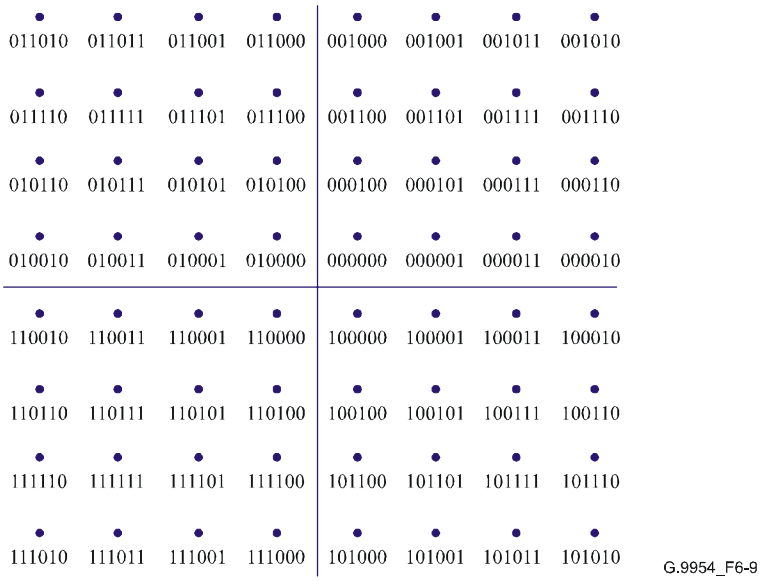

Figure 6-9/G.9954 – 6 bits par symbole

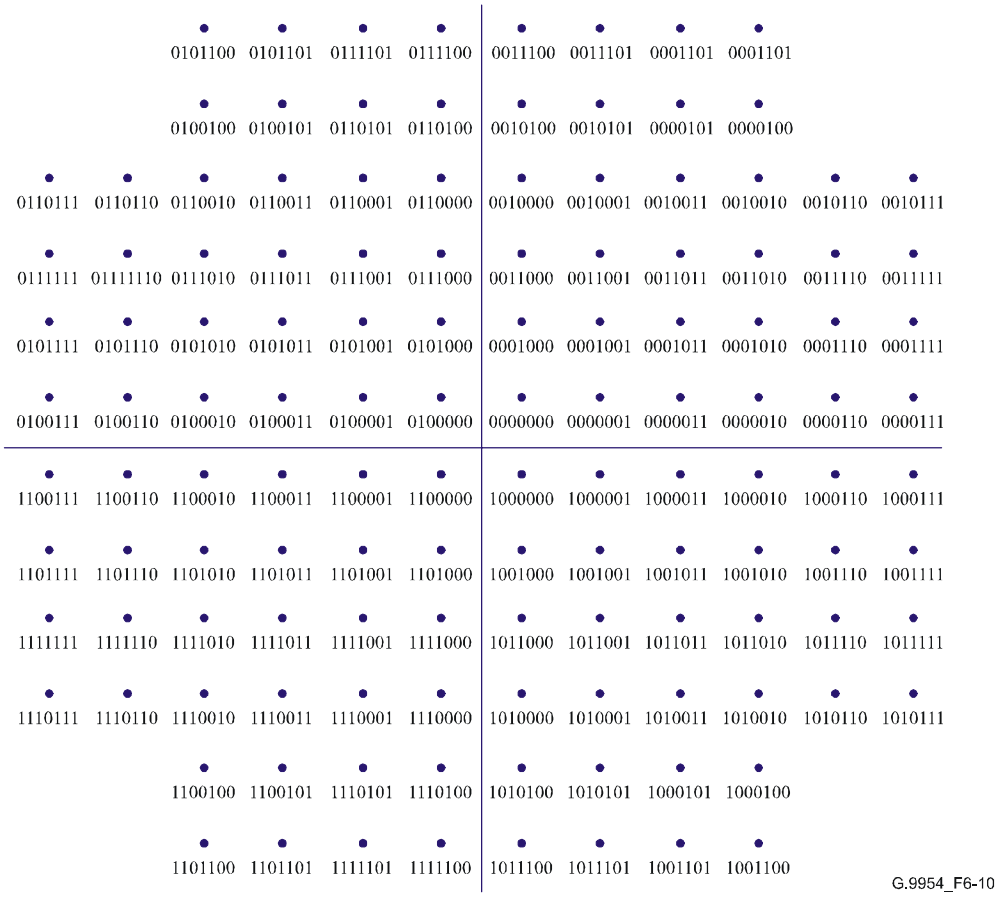

Figure 6-10/G.9954 – 7 bits par symbole

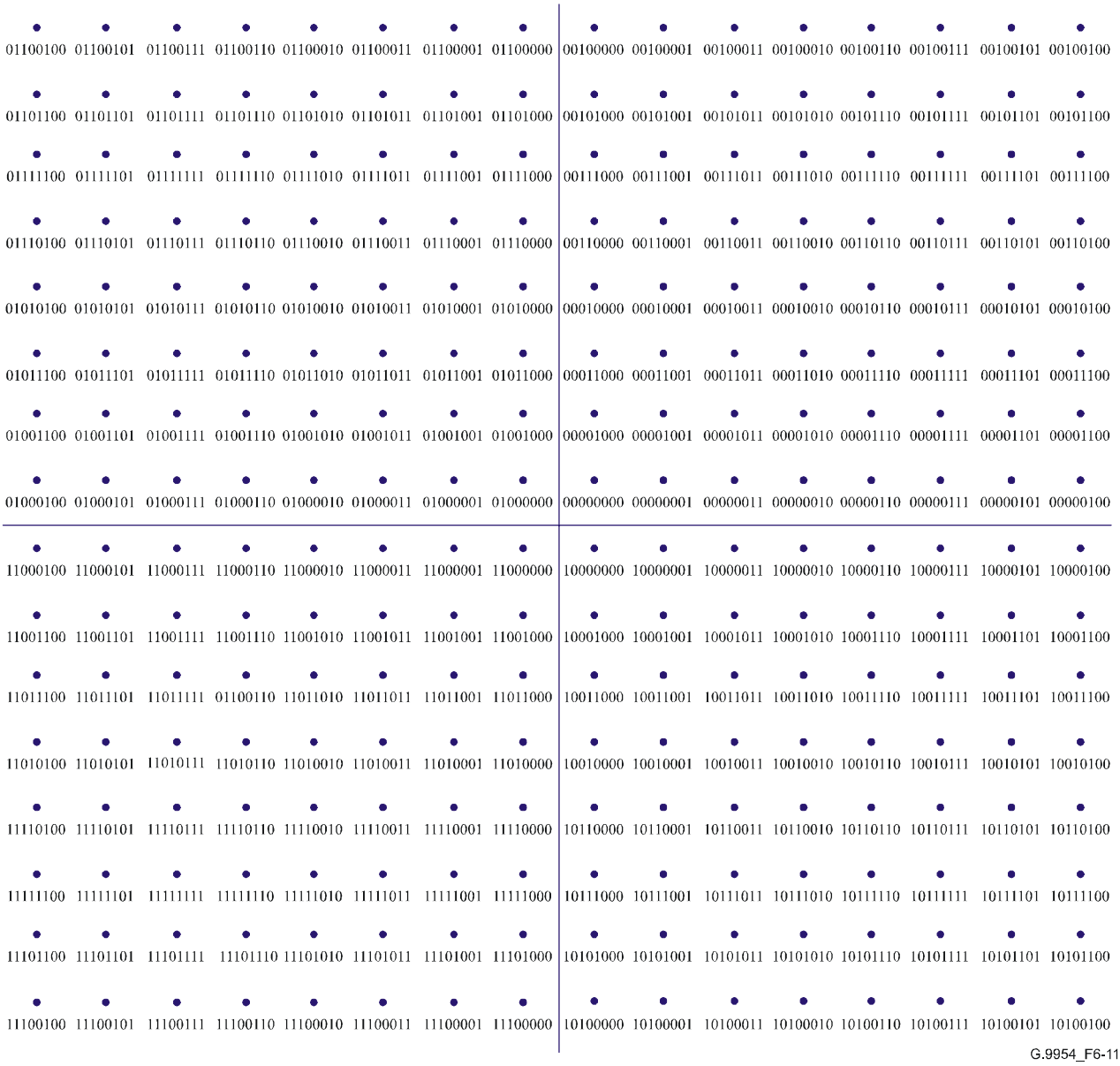

Figure 6-11/G.9954 – 8 bits par symbole

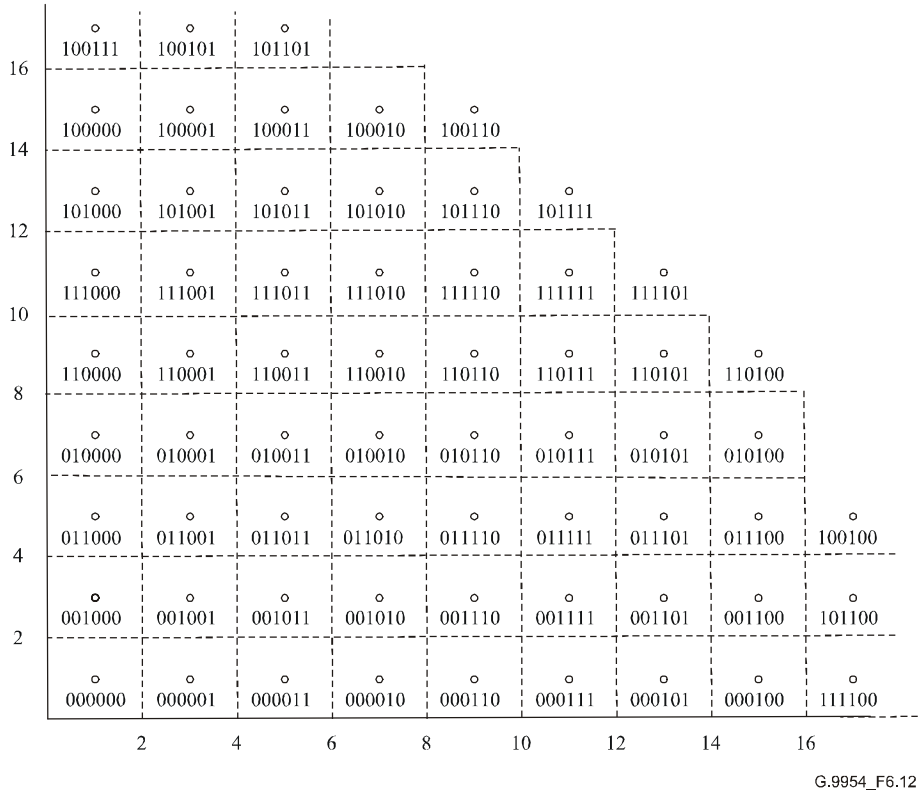

Figure 6-12/G.9954 – Constellation circulaire à 8 bits par symbole

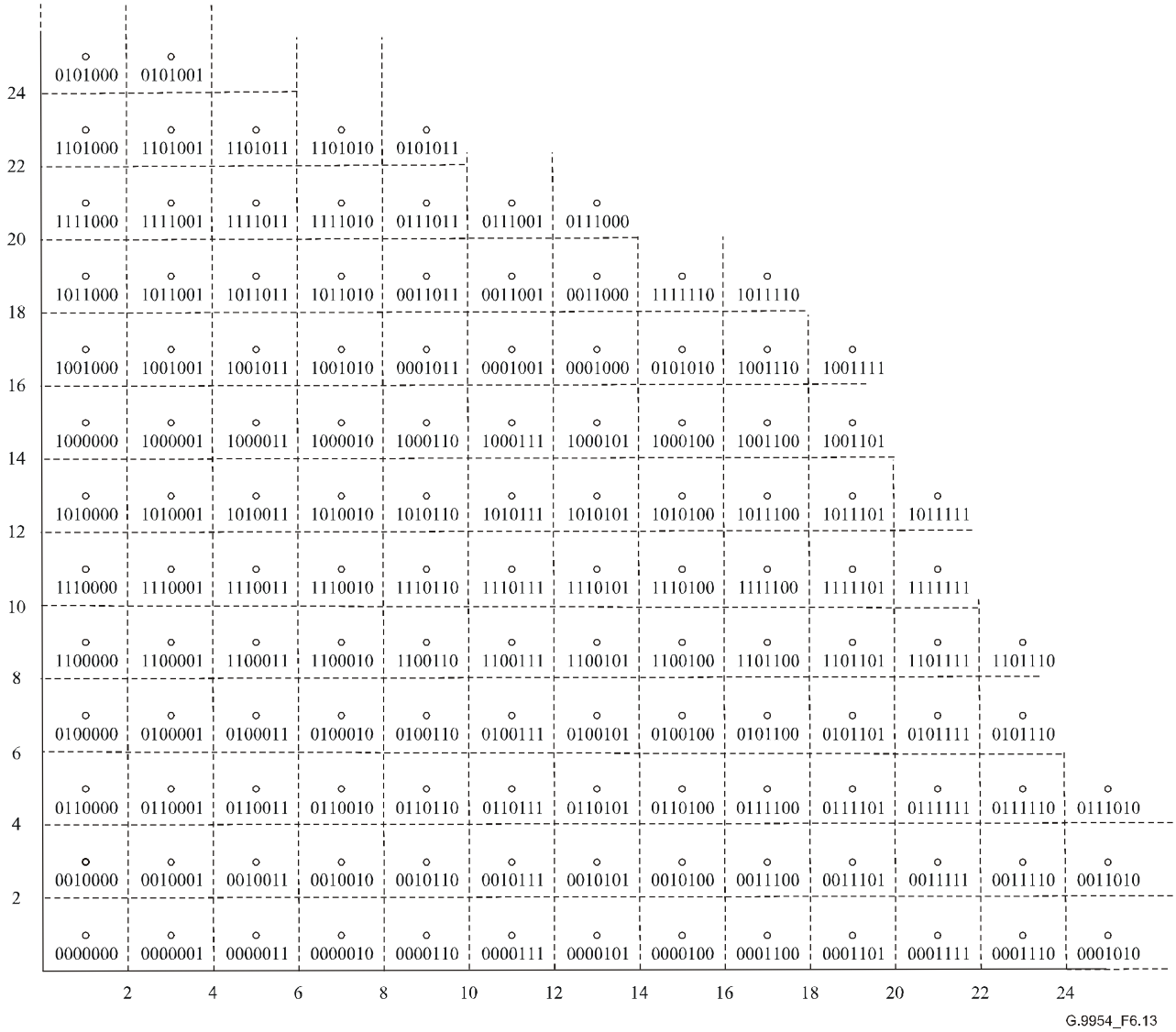

Figure 6-13/G.9954 – Constellation circulaire à 9 bits par symbole

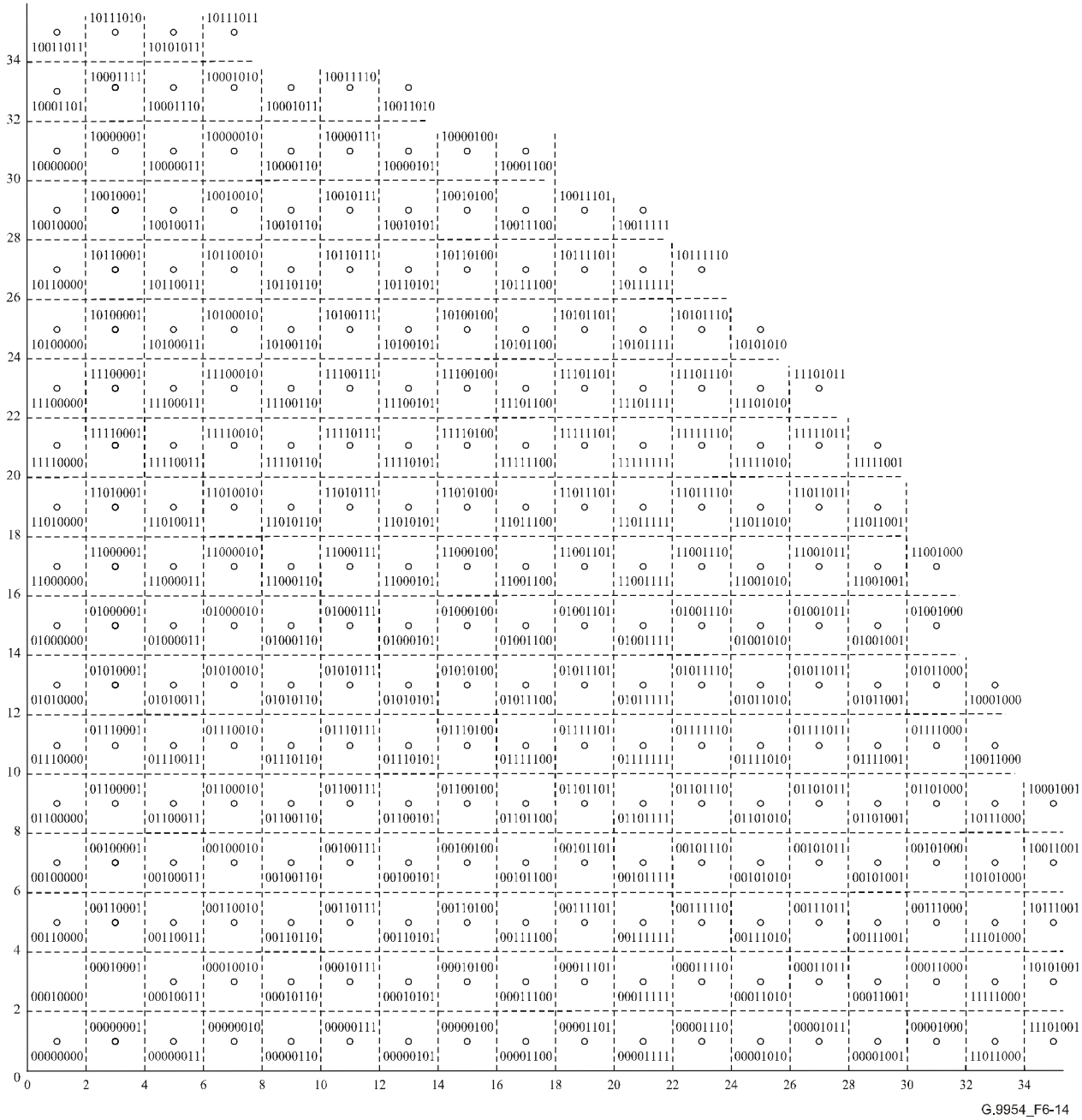

Figure 6-14/G.9954 – Constellation circulaire à 10 bits par symbole

6.5.3 Echelonnement de constellation

L'échelonnement relatif des différentes constellations à un seul débit de symbole est donné au Tableau 6-8 et au Tableau 6-9, où la valeur de s(PE) dans le Tableau 6-8 est donnée par le Tableau 6-9. La valeur de chaque point de constellation doit être exacte à plus ou moins 4% de la distance entre les plus proches voisins dans cette constellation.

NOTE – Par exemple, à 2 Mbaud, 2 bits par symbole, la tolérance sur chaque point est ±0,08, alors qu'à 2 Mbaud, 5 bits par symbole, la tolérance est ±0,02. Noter que la tolérance n'est pas impliquée par le nombre de chiffres significatifs du Tableau 6-9, c'est-à-dire que les valeurs du Tableau 6-9 devraient être considérée comme exactes.

Tableau 6-8/G.9954 – Points de référence des constellations

Bits par symbole	Points de référence	Valeur
2	00	(1 + i) × s(PE)
3	000 001	(12 + 5i) × s(PE) (5 + 12i) × s(PE)
4	0000	(1 + i) × s(PE)
5	00000	(1 + i) × s(PE)
6	000000	(1 + i) × s(PE)
7	0000000	(1 + i) × s(PE)
8	00000000	(1 + i) × s(PE)

Tableau 6-9/G.9954 – Facteurs s(PE) d'échelonnement de constellation

Gabarit spectral	Débit de symbole (MHz)	2 BPS	3 BPS	4 BPS	5 BPS	6 BPS	7 BPS	8 BPS	8 BPS circ.	9 BPS circ.	10 BPS circ.
n° 1	2	1,0000	0,1111	0,3333	0,2500	0,1429	0,1111	0,0667	0,0800	0,0556	0,0400
	4	0,7071	0,0786	0,2357	0,1768	0,1010	0,0786	0,0471	0,0566	0,0393	0,0283
n° 2	2	1,0000	0,1111	0,3333	0,2500	0,1429	0,1111	0,0667	0,0800	0,0556	0,0400
	4	0,7071	0,0786	0,2509	0,1812	0,1113	0,0835	0,0534	0,0617	0,0431	0,0306
	8	0,5000	0,0556	0,1952	0,1396	0,0897	0,0664	0,0438	0,0470	0,0332	0,0235
	16	0,3119	0,0335	0,1225	0,0860	0,0583	0,0418	0,0288	0,0296	0,0210	0,0148
n° 3	2	1,0000	0,1111	0,3333	0,2500	0,1429	0,1111	0,0667	0,0800	0,0556	0,0400
	6	0,5774	0,0642	0,2466	0,1664	0,1073	0,0763	0,0512	0,0550	0,0390	0,0275
	12	0,4082	0,0454	0,1789	0,1234	0,0816	0,0586	0,0397	0,0419	0,0297	0,0210
	24	0,2887	0,0321	0,1185	0,0832	0,0560	0,0404	0,0276	0,0287	0,0202	0,0143

Pour le gabarit spectral n° 1, les points de constellation sont échelonnés de telle sorte que les points les plus extérieurs aient approximativement une magnitude égale. Pour les gabarits spectraux n° 2 et n° 3, les constellations sont échelonnées sur la base de la mesure statistique du rapport de crête à moyenne (PAR, *peak to average ratio*).

6.5.4 Distribution des symboles durant les transitions de débit de symbole

Lors d'une transition de 2 Mbaud à un débit de symboles supérieur, le premier symbole de débit supérieur doit survenir 0,5 microseconde après le dernier symbole à 2 Mbaud.

Lors d'une transition d'un débit de symbole supérieur à 2 Mbaud, le premier symbole à 2 Mbaud doit survenir 0,5 microseconde après le dernier symbole à débit supérieur.

Par exemple, les transitions de 2 à 4 Mbaud et de 4 à 2 Mbaud sont illustrées à la Figure 6-15.

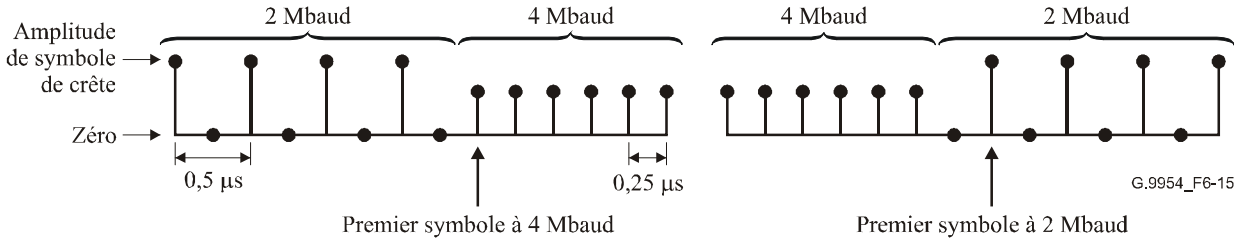

Figure 6-15/G.9954 – Transitions de débit de symbole

6.5.5 Transitions de débit de codage

Si dans une séquence, le nombre de bits n'est pas un multiple entier du nombre de bits par symbole, suffisamment de bits zéro doivent être insérés à la fin du flux de bits pour compléter le dernier symbole. Le nombre de bits zéro insérés doit être le nombre minimal tel que la longueur du flux de bits ajouté soit un multiple entier du nombre de bits par symbole.

6.5.6 En-tête et terminaison modifiés pour les gabarits spectraux n° 2 et 3

Pour les gabarits spectraux n° 2 et n° 3, le codeur de constellation doit refuser tous les autres symboles de l'en-tête et de la terminaison qui commencent par le second symbole. C'est-à-dire, les symboles 2, 4, 6... 136 de l'en-tête et les symboles 2 et 4 du EOF doivent être multipliés par –1.

Cette opération compense les nouvelles fréquences de la porteuse pour la création d'un signal dont l'en-tête et la terminaison soient compatibles avec celles du gabarit spectral n° 1, permettant la démodulation de l'en-tête sans connaître le gabarit spectral qui était utilisé.

6.6 Modulateur QAM/FDQAM

Le modulateur implémente la modulation d'amplitude en quadrature (QAM, *quadrature amplitude modulation*). La Figure 6-16 donne un exemple d'implémentation. Les fréquences de la porteuse et les filtres d'émission de chaque gabarit spectral ne dépendent pas de la vitesse de symboles.

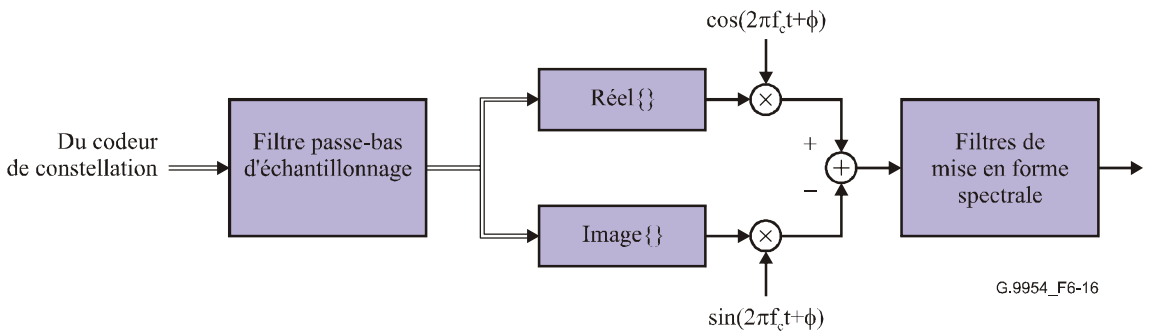

Figure 6-16/G.9954 – Modulateur QAM/FDQAM

6.6.1 Fréquence de la porteuse et tolérance

Chaque gabarit spectral a sa propre fréquence de porteuse f_c:

- gabarit spectral 1: f_c = 7 MHz
- gabarit spectral 2: f_c = 12 MHz
- gabarit spectral 3: f_c = 18 MHz

L'horloge de la porteuse doit être verrouillée sur l'horloge de symboles. De cette façon, la tolérance de fréquence de porteuse est déduite de la tolérance d'horloge définie au § 6.9.2.

6.6.2 Filtres d'émission

Les détails des filtres d'émission dépendent de l'implémentation. Les paragraphes 6.8.3 et 6.8.4 décrivent les contraintes pour la conception du filtre d'émission.

6.7 Exigences minimales pour les appareils

Les stations doivent au minimum être capables d'émettre et de recevoir le gabarit spectral n° 1 et le gabarit spectral n° 2. Les stations peuvent émettre et recevoir en utilisant le gabarit spectral n° 3.

Les stations doivent au minimum être capables d'émettre et recevoir des trames modulées à 2, 4, 8 et 16 Mbaud.

Ceci implique l'utilisation de QAM et de FDQAM.

Les stations doivent au minimum être capables d'émettre toutes les constellations depuis 2 bits par symbole jusqu'à 8 bits par symbole (valeurs PE de 1 à 7) et de recevoir toutes les constellations depuis 2 bits par symbole jusqu'à 6 bits par symbole (valeurs PE de 1 à 5).

6.8 Spécification électrique de l'émetteur

6.8.1 Puissance d'émission

La puissance d'émission doit être comprise entre –7 dBm et –9,5 dBm, mesuré à travers une charge de 100 ohms entre pointe et nuque, intégrée de 0 à 30 MHz.

6.8.2 Tension d'émission

La tension d'émission différentielle en valeur efficace ne doit pas dépasser –15 dBVrms dans toutes fenêtres de 2 µs entre 0 et 6 MHz, mesurée à travers une charge de 135 ohms entre pointe et nuque pour tout codage de charge utile. La tension d'émission différentielle de crête ne doit pas dépasser 580 mVcrête, mesurée à travers une charge de 135 ohms entre pointe et nuque pour tout codage de charge utile.

Les stations qui ne sont pas en émission doivent émettre moins de –65 dBVrms mesuré à travers une charge de 100 ohms entre pointe et nuque.

6.8.3 Gabarits spectraux

Trois gabarits spectraux sont définis. Les stations doivent émettre en utilisant le gabarit spectral négocié via la fonction de contrôle de négociation de débit de couche Liaison.

6.8.3.1 Limite supérieure de PSD

Lors des émissions avec le gabarit spectral n° 1, la densité spectrale de puissance (PSD) métallique de PNT doit être contenue dans les limites supérieure et inférieure décrites à la Figure 6-17, Tableau 6-10 et Tableau 6-11 avec les mesures effectuées à travers une charge de 100 ohms entre pointe et nuque à l'interface W1 de l'émetteur. La limite supérieure doit s'appliquer à tous les débits de symboles et constellations, et la limite inférieure doit s'appliquer au 2 Mbaud, 2 bits/symbole.

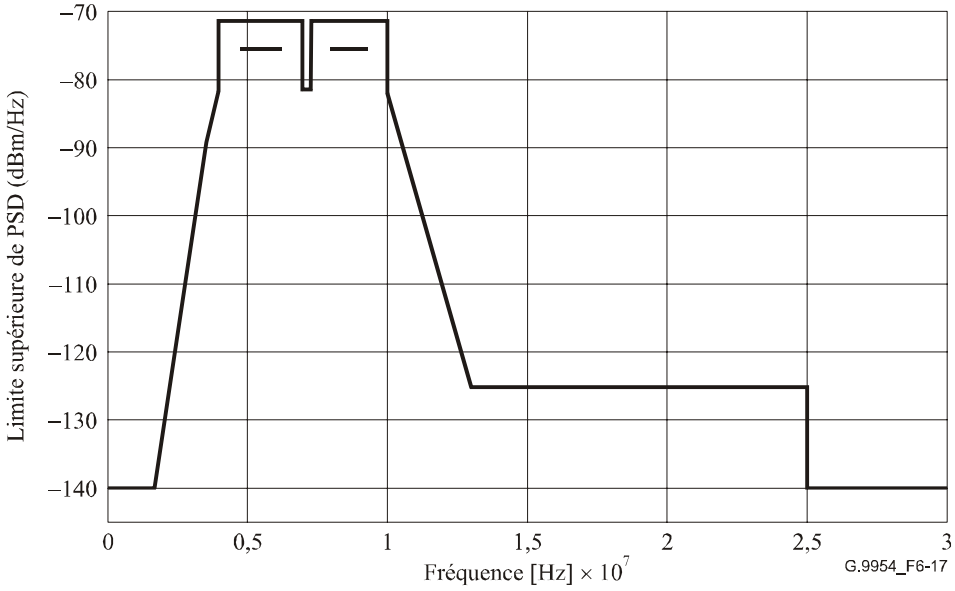

Figure 6-17/G.9954 – Limites inférieure et supérieure de PSD d'émission pour le gabarit spectral n° 1

Tableau 6-10/G.9954 – Limite supérieure de PSD d'émission pour le gabarit spectral n° 1

Fréquence [MHz]	Limite de PSD [dBm/Hz]
$0{,}015 < f \leq 1{,}7$	–140
$1{,}7 < f \leq 3{,}5$	$-140 + (f - 1{,}7) \times 50{,}0/1{,}8$
$3{,}5 < f \leq 4{,}0$	$-90 + (f - 3{,}5) \times 17{,}0$
$4{,}0 < f < 7{,}0$	–71,5
$7{,}0 \leq f \leq 7{,}3$	–81,5
$7{,}3 < f < 10{,}0$	–71,5
$10{,}0 \leq f < 13{,}0$	$-81{,}5 - (f - 10{,}0) \times 43{,}5/3{,}0$
$13{,}0 \leq f < 25{,}0$	–125
$25{,}0 \leq f < 30{,}0$	–140

Tableau 6-11/G.9954 – Limite inférieure de PSD d'émission pour le gabarit spectral n° 1

Fréquence [MHz]	Limite de PSD [dBm/Hz]
$4{,}75 < f < 6{,}25$	–76,0
$8{,}00 < f < 9{,}25$	–76,0

Lors des émissions avec le gabarit spectral n° 2, la densité spectrale de puissance (PSD) métallique de PNT doit être contenue dans la limite supérieure décrite à la Figure 6-18, Tableau 6-12 et Tableau 6-13 avec les mesures effectuées à travers une charge de 100 ohms entre pointe et nuque à l'interface W1 de l'émetteur. La limite supérieure doit s'appliquer à tous les débits de symboles et constellations, et la limite inférieure doit s'appliquer au 2 Mbaud, 2 bits/symbole.

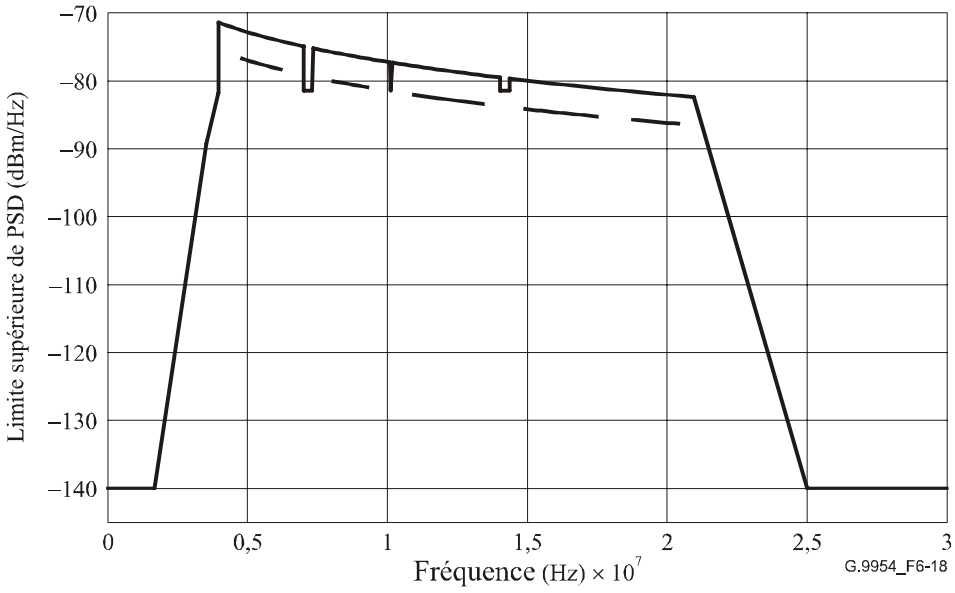

Figure 6-18/G.9954 – Limite supérieure de PSD d'émission pour le gabarit spectral n° 2

Tableau 6-12/G.9954 – Limite supérieure de PSD d'émission pour le gabarit spectral n° 2

Fréquence [MHz]	Limite de PSD [dBm/Hz]
$0{,}015 < f \leq 1{,}7$	–140
$1{,}7 < f \leq 3{,}5$	$-140 + (f - 1{,}7) \times 50{,}0/1{,}8$
$3{,}5 < f \leq 4{,}0$	$-90 + (f - 3{,}5) \times 17{,}0$
$4{,}0 < f < 7{,}0$	$-71{,}5 - 15 \times \log_{10}(f/4)$
$7{,}0 \leq f \leq 7{,}3$	–81,5
$7{,}3 < f < 10{,}1$	$-71{,}5 - 15 \times \log_{10}(f/4)$
$10{,}1 \leq f \leq 10{,}15$	–81,5
$10{,}15 < f < 14{,}0$	$-71{,}5 - 15 \times \log_{10}(f/4)$
$14{,}0 \leq f \leq 14{,}35$	–81,5
$14{,}35 < f < 18{,}068$	$-71{,}5 - 15 \times \log_{10}(f/4)$
$18{,}068 \leq f \leq 18{,}168$	–81,5
$18{,}168 < f < 21{,}0$	$-71{,}5 - 15 \times \log_{10}(f/4)$
$21{,}0 \leq f < 25{,}0$	$-82{,}3 - (f - 21) \times 57{,}7/4{,}0$
$25{,}0 \leq f$	–140

Tableau 6-13/G.9954 – Limite inférieure de PSD d'émission pour le gabarit spectral n° 2

Fréquence [MHz]	Limite de PSD [dBm/Hz]
$4{,}75 < f < 6{,}25$	$-75{,}5 - 15 \times \log_{10}(f/4)$
$8{,}00 < f < 9{,}35$	$-75{,}5 - 15 \times \log_{10}(f/4)$
$10{,}90 < f < 13{,}50$	$-75{,}5 - 15 \times \log_{10}(f/4)$
$14{,}85 < f < 17{,}57$	$-75{,}5 - 15 \times \log_{10}(f/4)$
$18{,}67 < f < 20{,}25$	$-75{,}5 - 15 \times \log_{10}(f/4)$

Lors des émissions avec le gabarit spectral n° 3, la densité spectrale de puissance (PSD) métallique de PNT doit être contenue dans la limite supérieure décrite à la Figure 6-19, Tableau 6-14 et Tableau 6-15 avec les mesures effectuées à travers une charge de 100 ohms entre pointe et nuque à l'interface W1 de l'émetteur. La limite supérieure doit s'appliquer à tous les débits de symboles et constellations, et la limite inférieure doit s'appliquer au 2 Mbaud, 2 bits/symbole.

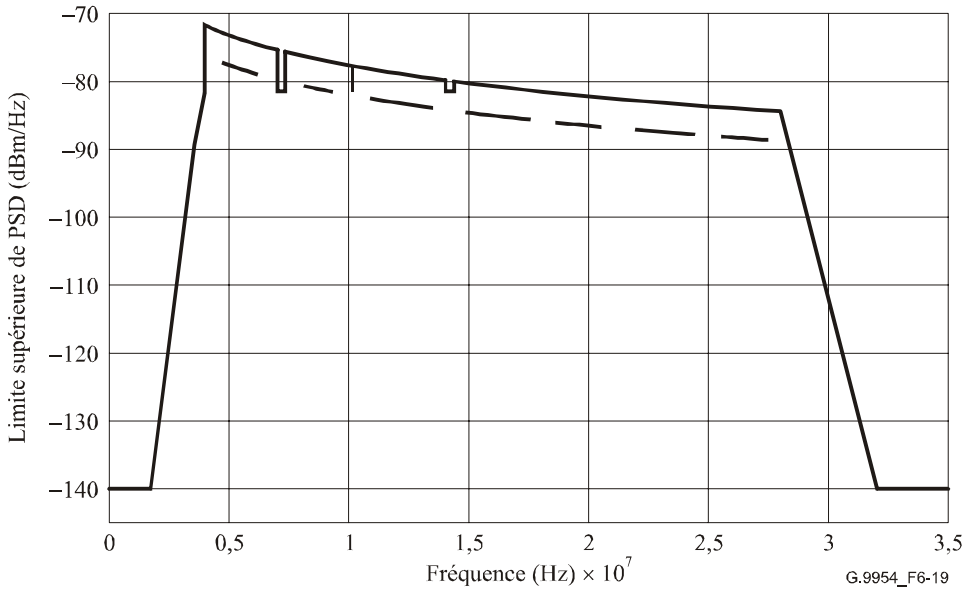

Figure 6-19/G.9954 – Limite supérieure de PSD d'émission pour le gabarit spectral n° 3

Tableau 6-14/G.9954 – Limite supérieure de PSD d'émission pour le gabarit spectral n° 3

Fréquence [MHz]	Limite de PSD [dBm/Hz]
$0{,}015 < f \leq 1{,}7$	–140
$1{,}7 < f \leq 3{,}5$	$-140 + (f - 1{,}7) \times 50{,}0/1{,}8$
$3{,}5 < f \leq 4{,}0$	$-90 + (f - 3{,}5) \times 17{,}0$
$4{,}0 < f < 7{,}0$	$-72{,}0 - 15 \times \log_{10}(f/4)$
$7{,}0 \leq f \leq 7{,}3$	–81,5
$7{,}3 < f < 10{,}1$	$-72{,}0 - 15 \times \log_{10}(f/4)$
$10{,}1 \leq f \leq 10{,}15$	–81,5
$10{,}15 < f < 14{,}0$	$-72{,}0 - 15 \times \log_{10}(f/4)$
$14{,}0 \leq f \leq 14{,}35$	–81,5
$14{,}35 < f < 28{,}0$	$-72{,}0 - 15 \times \log_{10}(f/4)$
$28 \leq f < 32{,}0$	$-84{,}7 - (f - 28) \times 55{,}3/4{,}0$
$32{,}0 \leq f$	–140,0

Tableau 6-15/G.9954 – Limite inférieure de PSD d'émission pour le gabarit spectral n° 3

Fréquence [MHz]	Limite de PSD [dBm/Hz]
$4{,}75 < f < 6{,}25$	$-76{,}0 - 15 \times \log_{10}(f/4)$
$8{,}00 < f < 9{,}35$	$-76{,}0 - 15 \times \log_{10}(f/4)$
$10{,}90 < f < 13{,}50$	$-76{,}0 - 15 \times \log_{10}(f/4)$
$14{,}85 < f < 17{,}57$	$-76{,}0 - 15 \times \log_{10}(f/4)$
$18{,}67 < f < 20{,}50$	$-76{,}0 - 15 \times \log_{10}(f/4)$
$21{,}95 < f < 24{,}40$	$-76{,}0 - 15 \times \log_{10}(f/4)$
$25{,}50 < f < 27{,}25$	$-76{,}0 - 15 \times \log_{10}(f/4)$

La bande passante de résolution utilisée pour faire ces mesures doit être de 10 kHz pour les fréquences entre 2,0 et 30,0 kHz et de 3 kHz pour les fréquences entre 0,015 et 2,0 MHz. On doit utiliser une fenêtre de moyennage de 213 secondes, et on doit supposer des unités de transmission maximale (MTU, *maximum transmission unit*) de 1500 octets séparées par une durée de silence d'un intervalle IFG. Un total de 50 kHz de bandes non nécessairement contiguës peut dépasser la limite au-dessous de 2,0 MHz, aucune sous-bande ne devant dépasser 20 dB au-dessus de cette limite. Lors de transmissions avec le gabarit spectral n° 1, un total de 100 kHz de bandes non nécessairement contiguës peut dépasser la limite entre 13,0 et 30,0 MHz, aucune sous-bande ne devant dépasser 20 dB au-dessus de cette limite. Lors de transmissions avec le gabarit spectral n° 2, un total de 100 kHz de bandes non nécessairement contiguës peut dépasser la limite entre 25,0 et 30,0 MHz, aucune sous-bande ne devant dépasser 20 dB au-dessus de cette limite.

NOTE 1 – Les créneaux à 4,0, 7,0, 10,1, 14,0, 18,068, 21,0, et 24,9 MHz sont destinés à réduire les sorties RFI dans les bandes de radioamateurs.

NOTE 2 – Les gabarits devraient être testés aux valeurs PE de 2 et 3 bits/symbole, car ces codages de charge utile produisent la puissance émise maximale.

6.8.4 Temps de réponse de symbole de l'émetteur

Lors d'émissions avec le gabarit spectral n° 1, le temps de réponse de symboles de la sortie de l'émetteur doit avoir pour limite supérieure le gabarit temporel donné à la Figure 6-20. Lors d'émissions avec le gabarit spectral n° 2 ou le gabarit spectral n° 3, le temps de réponse de symbole de la sortie de l'émetteur doit avoir pour limite supérieure le gabarit temporel donné à la Figure 6-21. Le temps de réponse doit être mesuré à travers une charge de 100 ohms entre pointe et nuque à l'interface W1 de l'émetteur.

La sortie avant $t = 0$ et après $t = 5{,}0$ microsecondes doit être < 0,032 % de l'amplitude de crête.

Dans la Figure 6-20 et la Figure 6-21, le temps $t = 0$ est arbitraire.

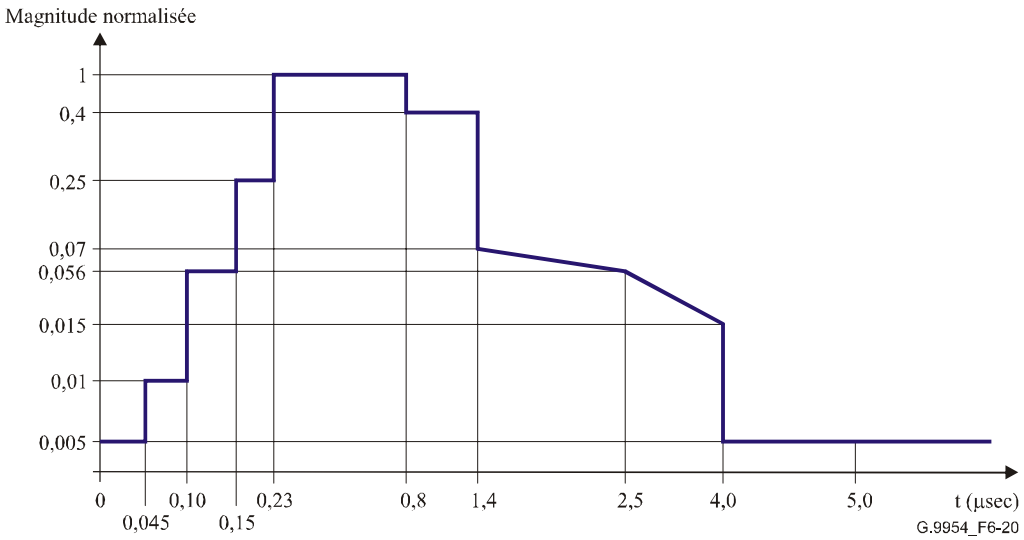

Figure 6-20/G.9954 – Gabarit de magnitude du temps de réponse de symbole de l'émetteur pour le gabarit spectral n° 1

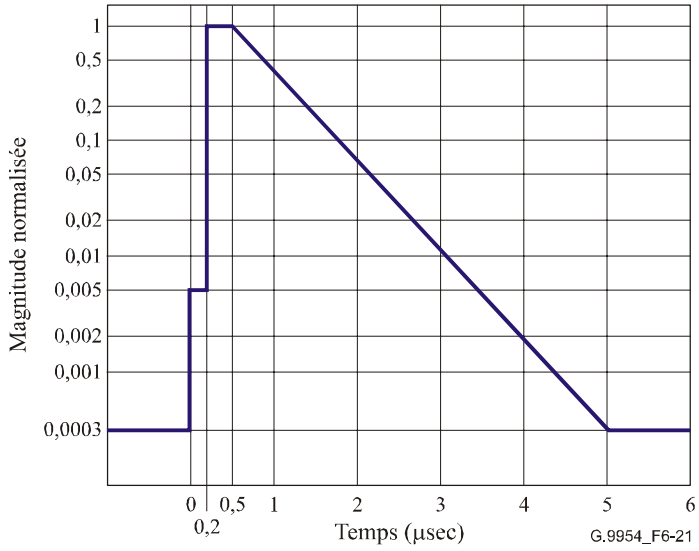

Figure 6-21/G.9954 – Gabarit de magnitude du temps de réponse de symbole de l'émetteur pour les gabarits spectraux n° 2 et n° 3

6.8.5 Sorties d'émissions non essentielles dans la bande vocale

La sortie pondérée C de l'émetteur dans la bande s'étendant de 200 Hz à 3000 Hz ne doit jamais dépasser 10 dBrnC lorsqu'elle est terminée par une charge résistive de 600 ohms.

6.8.6 Emissions en mode commun

6.8.6.1 Tension de sortie en mode commun

L'émetteur ne doit pas émettre plus de –55 dBVrms à travers une charge de 50 ohms entre le branchement central d'un transformateur avec CMRR > 60 dB et le sol de l'émetteur-récepteur dans la bande s'étendant de 0,1 MHz à 50 MHz.

6.8.7 Tolérance d'horloge

La fréquence d'horloge de l'émetteur doit être exacte à ±100 ppm sur toutes les températures de fonctionnement de l'appareil. La gamme minimale de température de fonctionnement pour cette prescription doit être de 0 à 70 degrés C.

En général, un cristal à ±50 ppm sera nécessaire pour satisfaire à cette exigence.

6.8.8 Gigue d'horloge

La gigue rms de l'horloge de l'émetteur doit être inférieure à 70 ps, moyennée sur une fenêtre glissante de 10 µs.

6.8.9 Balance I/Q

Il ne doit pas y avoir de gain ou de déséquilibrage de phase dans l'émetteur, excepté ce qui est noté au § 6.5.3.

6.9 Spécification électrique du récepteur

6.9.1 Sensibilité du récepteur

6.9.1.1 Signal maximal

Le récepteur doit détecter les trames avec une tension de crête jusqu'à –6 dBV à travers point et nuque à un débit d'erreur de trame non supérieur à 10^{-3} avec ajout d'un bruit blanc gaussien à une puissance spécifique (PSD) de moins de –140 dBm/Hz, mesurée au récepteur.

6.9.1.2 Sensibilité minimale

Le récepteur doit détecter des trames de 1518 octets codées à 2 bits/symbole et 2 Mbaud avec une tension rms aussi faible que 2,5 mV à un débit d'erreur de trame non supérieur à 10^{-3}. La tension rms est calculée seulement sur le temps pendant lequel l'émetteur est actif.

Le récepteur ne doit pas détecter plus de 1 dans 10^4 trames à 1518 octets, 2 bits/symbole, 2 Msymbole/s avec une tension rms inférieure à 1,0 mV.

Les deux critères supposent l'ajout d'un bruit blanc gaussien à une puissance efficace inférieure à −140 dBm/Hz, mesurée au récepteur, ainsi qu'un canal plat.

6.9.2 Tolérance d'horloge

Le récepteur doit satisfaire aux exigences des § 6.9.4.1 et 6.9.4.2 sur la boucle 1 lorsque la fréquence d'horloge de l'émetteur est dans les ±100 ppm de sa valeur nominale.

6.9.3 Immunité aux interférences de bande étroite

6.9.3.1 Entrée différentielle

Le récepteur doit démoduler les trames avec charge utile codée au gabarit spectral n° 2, à 4 Mbaud, 3 bits/symbole, et tension rms différentielle aussi faible que 20 mV (mesuré sur l'en-tête) à un débit d'erreur de trame inférieur à 10^{-4} dans les conditions suivantes:

1) un bruit blanc gaussien avec PSD inférieure à –130 dBm/Hz doit être ajouté au récepteur;
2) un signal brouilleur à tonalité unique avec une des combinaisons de bande de fréquences et tension d'entrée suivantes du Tableau 6-16:

Tableau 6-16/G.9954 – Amplitudes de signal brouilleur

Gammes de fréquences [MHz]	Niveau maximal de signal brouilleur de crête à crête [volts]
0,01 – 0,1	6,0
0,1 – 0,6	3,3
0,6 – 1,7	1,0
1,7 – 4,0	0,1
7,0 – 7,3	0,1
10,0 – 10,15	0,1
14,0 – 14,35	0,1
18,068 – 18,168	0,1
21,0 – 21,45	0,1
24,89 – 24,99	0,1
28,0 – 29,7	0,1

La tension appliquée doit être mesurée à travers pointe et nuque à l'entrée de l'émetteur-récepteur.

6.9.3.2 Entrée en mode commun

Le récepteur doit démoduler les trames avec charge utile codée au gabarit spectral n° 2, à 4 Mbaud, 3 bits/symbole, et tension rms différentielle aussi faible que 20 mV (mesurée sur l'en-tête) à un débit d'erreur de trame inférieur à 10^{-4} dans les conditions suivantes:

1) un bruit blanc gaussien avec une PSD inférieure à –130 dBm/Hz doit être ajouté au récepteur, en mode différentiel;

2) un signal brouilleur à tonalité unique, mesuré entre le branchement central d'un transformateur d'essai et la terre à l'entrée du récepteur, avec toutes combinaisons de bande de fréquence et de tension d'entrée du Tableau 6-17:

Tableau 6-17/G.9954 – Exigences d'entrée du mode commun

Gammes de fréquences [MHz]	Niveau maximal de signal brouilleur de crête à crête [volts]
0,01 – 0,1	20,0
0,1 – 0,6	20,0
0,6 – 1,7	10,0
1,7 – 4,0	2,5
7,0 – 7,3	2,5
10,0 – 10,15	2,5
14.0 – 14,35	2,5
18,068 – 18,168	2,5
21,0 – 21,45	2,5
24,89 – 24,99	2,5
28,0 – 29,7	2,5

L'affaiblissement de mode commun du transformateur d'essai utilisé pour insérer le signal devrait dépasser 60 dB pour 100 MHz.

6.9.4 Exigences de marge de système

Les boucles d'essai, données au § B.2 doivent être utilisées pour vérifier les exigences minimales du récepteur. Les affaiblissements suivants doivent être appliqués dans chaque boucle d'essai: affaiblissement supplémentaire (plat), ajout de bruit blanc gaussien, signaux brouilleurs de bande étroite, et impulsion de bruit de 120 Hz ("léger bruit obscurcissant").

Le niveau d'affaiblissement (défini dans chaque sous-paragraphe) doit dépasser le niveau spécifié à chaque codage de charge utile spécifié au point de débit d'erreur de trame (FER, *frame error rate*): 10^{-2}. Une exigence de marge de système est aussi définie pour un canal unique à variation dans le temps.

Toute entrée "–" dans un tableau signifie qu'il n'y a pas d'exigence dans les conditions spécifiées.

6.9.4.1 Exigences d'affaiblissement

Le réglage de l'affaiblisseur décrit au Tableau 6-18 est l'affaiblissement supplémentaire appliqué en série avec la boucle de câblage spécifiée.

Tableau 6-18/G.9954 – Exigences d'affaiblissement

Numéro de boucle		1	4	5	6	8	9
Codage de charge utile	**FER**	**Réglage d'affaiblisseur pour l'affaiblissement demandé [dB]**					
Gabarit n° 1, 2 Mbaud, 2 bps	10^{-2}	34	16	22	11	12	18
Gabarit n° 1, 2 Mbaud, 6 bps	10^{-2}	30	9	18	6	8	–
Gabarit n° 2, 4 Mbaud, 3 bps	10^{-2}	30	12	17	7	10	16
Gabarit n° 2, 16 Mbaud, 3 bps	10^{-2}	28	12	13	–	8	–

6.9.4.2 Exigences d'ajout de bruit blanc

Puissance de bruit blanc au réglage d'affaiblisseur de 0 dB: –70 dBm/Hz. La sortie de l'affaiblisseur de bruit doit être ajoutée au récepteur. Pour la boucle 1, 20 dB d'affaiblissement de canal plat doivent être placés en série avec la boucle.

Tableau 6-19/G.9954 – Exigences d'ajout de bruit blanc

Numéro de boucle		1	4	5	6	8	9
Codage de charge utile	**FER**	**Réglage d'affaiblisseur pour l'affaiblissement demandé [dB]**					
Gabarit n° 1, 2 Mbaud, 2 bps	10^{-2}	42	40	36	46	43	39
Gabarit n° 1, 2 Mbaud, 6 bps	10^{-2}	58	57	53	63	60	–
Gabarit n° 2, 4 Mbaud, 3 bps	10^{-2}	48	42	42	52	45	52
Gabarit n° 2, 16 Mbaud, 3 bps	10^{-2}	57	51	52	65	56	–

6.9.4.3 Exigences de brouillage de bande étroite

Amplitude crête à crête de brouillage de bande étroite au réglage d'affaiblissement de 0 dB: 2,0 volts à 7,0, 7,3, 10,1, 14,0, 14,35, 18,1, 21,0 MHz. Le bruit blanc gaussien est appliqué simultanément à un niveau de –135 dBm/Hz.

Tableau 6-20/G.9954 – Exigences de brouillage de bande étroite

Numéro de boucle		1	4	5	6	8	9
Codage de charge utile	**FER**	**Réglage d'affaiblisseur pour l'affaiblissement demandé [dB]**					
Gabarit n° 1, 2 Mbaud, 2 bps	10^{-2}	26	26	26	26	26	26
Gabarit n° 1, 2 Mbaud, 6 bps	10^{-2}	26	30	26	32	30	–
Gabarit n° 2, 4 Mbaud, 3 bps	10^{-2}	26	26	26	26	26	28
Gabarit n° 2, 16 Mbaud, 3 bps	10^{-2}	26	26	26	43	31	–

6.9.4.4 Exigences de bruit d'impulsion

Amplitude de crête à crête de bruit d'impulsion au réglage d'affaiblisseur de 0 dB: 3,0 volts. Le bruit blanc gaussien est appliqué simultanément au niveau de –135 dBm/Hz. L'impulsion doit être définie comme deux cycles d'une onde carrée à 5,0 MHz cumulée avec quatre cycles d'onde carrée à 7,0 MHz.

Tableau 6-21/G.9954 – Exigences de bruit d'impulsion

Numéro de boucle		2	9
Codage de charge utile	**FER**	**Réglage d'affaiblisseur pour l'affaiblissement demandé [dB]**	
Gabarit n° 1, 2 Mbaud, 2 bps	10^{-2}	3	3
Gabarit n° 1, 2 Mbaud, 6 bps	10^{-2}	3	–
Gabarit n° 2, 4 Mbaud, 3 bps	10^{-2}	3	3
Gabarit n° 2, 16 Mbaud, 3 bps	10^{-2}	3	–

6.9.4.5 Exigences de marge du système pour canal dynamique

Le récepteur ne doit pas détecter plus de cinq trames de 1518 octets erronées sur 3000 lorsqu'elles sont envoyées au débit de cinq trames par ms sur la boucle n° 2 dans les conditions suivantes:

– durant cet essai, le condensateur de 330 pF terminant un des embouts doit être mis en service et arrêté sur la boucle une fois par seconde, c'est-à-dire qu'une terminaison de circuit ouvert doit être utilisée pendant 1 s toutes les 2 s;
– on doit ajouter au récepteur un bruit blanc au niveau de –140 dBm/Hz;
– le codage de charge utile (PE) doit être au gabarit spectral n° 2, à 16 Mbaud, 3 bits/symbole.

Mettre en service et hors service un condensateur sur la boucle simule une transition de décroché/raccroché sur un téléphone ordinaire.

6.9.4.6 Performances de signal de sonnerie téléphonique

L'appareil PNT doit être capable de traiter un événement de signal de sonnerie téléphonique provenant d'un central téléphonique. Le signal doit consister en une sinusoïde de 20 Hz à un niveau de 90 Vrms surimposée à un niveau de télé-alimentation en courant continu de –52 V (min.). L'appareil doit résister à un signal de sonnerie téléphonique répétée de façon continue avec 2 s de sonnerie et 4 s de coupure à travers le circuit défini à la Figure 6-22.

Le signal est injecté dans le circuit à travers deux résistances de 500 ohms, comme indiqué à la Figure 6-22. Comme la plupart des affaiblisseurs ont une faible impédance en courant continu et pourraient significativement réduire la tension de sonnerie, deux condensateurs de 0,01 µF sont nécessaires pour faire l'isolation du courant continu.

Lorsque soumis comme défini ci-dessus au signal de sonnerie téléphonique, le taux d'erreur de trame de l'appareil ne doit pas dépasser 0,1 % lorsque mesuré sur 100 000 trames au protocole UDP à MTU maximum, au gabarit spectral n° 2, à 4 Mbaud, 3 bits/symbole.

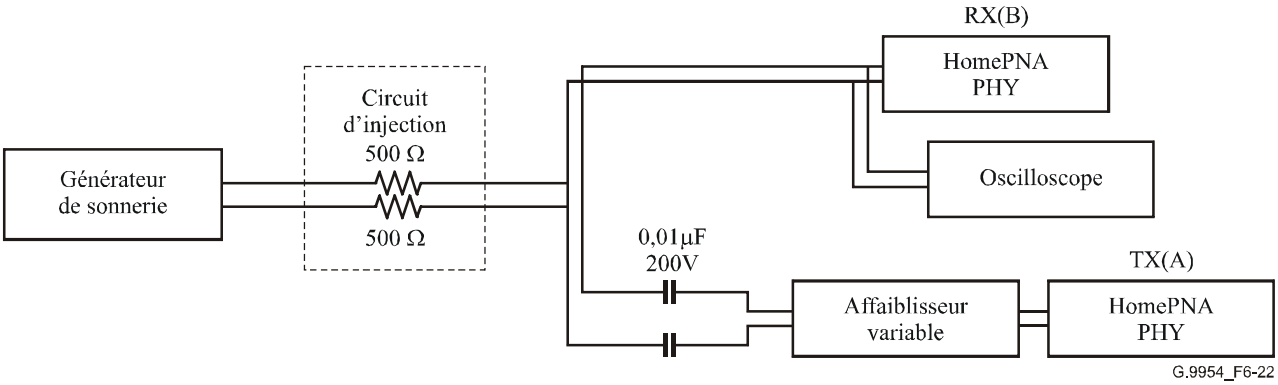

Figure 6-22/G.9954 – Conditions de signal de sonnerie téléphonique

6.10 Impédance d'entrée

6.10.1 Affaiblissement de bande passante en retour

Les stations doivent se conformer au gabarit d'impédance correspondant au plus fort gabarit spectral auquel elles peuvent émettre.

Pour les stations capables d'émettre avec le gabarit spectral n° 2, l'affaiblissement en retour moyen de l'émetteur-récepteur par rapport à une charge résistive de 100 ohms doit dépasser 12 dB entre 4,75 et 20,25 MHz. Cette exigence s'applique à l'émetteur-récepteur sous tension ou en mode de faible puissance (émetteur débranché). L'affaiblissement en retour moyen par rapport à une charge

résistive de 100 ohms doit dépasser 6 dB entre 4,75 et 20,25 MHz avec l'émetteur-récepteur débranché de la source d'alimentation électrique.

Pour les stations capables d'émettre avec le gabarit spectral n° 3, l'affaiblissement en retour moyen de l'émetteur-récepteur par rapport à une charge résistive de 100 ohms doit dépasser 12 dB entre 4,75 et 27,25 MHz. Cette exigence s'applique à l'émetteur-récepteur sous tension ou en mode de faible puissance (émetteur débranché). L'affaiblissement en retour moyen par rapport à une charge résistive de 100 ohms doit dépasser 6 dB entre 4,75 et 27,25 MHz avec l'émetteur-récepteur débranché de la source d'alimentation électrique.

6.10.2 Impédance d'entrée de bande affaiblie

Les stations doivent se conformer au gabarit d'impédance correspondant au plus fort gabarit spectral auquel elles peuvent émettre.

Les stations capables d'émettre avec le gabarit spectral n° 2 doivent seulement avoir une magnitude d'impédance d'entrée supérieure à 10 ohms de 0 à 30 MHz et doivent se conformer au gabarit de limite inférieure du Tableau 6-22.

Tableau 6-22/G.9954 – Gabarit de limite inférieure d'impédance d'entrée au gabarit spectral n° 2

Gamme de fréquences [kHz]	Impédance minimale [ohms]
$0 < f \leq 0{,}285$	1 M
$0{,}285 < f \leq 2{,}85$	100 k
$2{,}85 < f \leq 28{,}5$	10 k
$28{,}5 < f \leq 95$	4,0 k
$95 < f \leq 190$	2,0 k
$190 < f \leq 285$	1,4 k
$285 < f \leq 380$	1,0 k
$380 < f \leq 475$	850
$475 < f \leq 570$	700
$570 < f \leq 665$	600
$665 < f \leq 760$	525
$760 < f \leq 855$	450
$855 < f \leq 950$	400
$950 < f \leq 1000$	350
$1000 < f \leq 1400$	175
$1400 < f \leq 2300$	100
$2300 < f \leq 2850$	50
$2850 < f \leq 3085$	25
$3085 < f \leq 4000$	10
$4000 < f \leq 4750$	30
$20\,250 < f \leq 21\,000$	30
$21\,000 < f \leq 25\,000$	25
$25\,000 < f \leq 30\,000$	50

Les stations capables d'émettre avec le gabarit spectral n° 3 doivent avoir une magnitude d'impédance d'entrée supérieure à 10 ohms de 0 à 30 MHz et doivent se conformer au gabarit de limite inférieure du Tableau 6-23.

Tableau 6-23/G.9954 – Gabarit de limite inférieure d'impédance d'entrée au gabarit spectral n° 3

Gamme de fréquences [kHz]	Impédance minimale [ohms]
$0 < f \leq 0{,}285$	1 M
$0{,}285 < f \leq 2{,}85$	100 k
$2{,}85 < f \leq 28{,}5$	10 k
$28{,}5 < f \leq 95$	4,0 k
$95 < f \leq 190$	2,0 k
$190 < f \leq 285$	1,4 k
$285 < f \leq 380$	1,0 k
$380 < f \leq 475$	850
$475 < f \leq 570$	700
$570 < f \leq 665$	600
$665 < f \leq 760$	525
$760 < f \leq 855$	450
$855 < f \leq 950$	400
$950 < f \leq 1000$	350
$1000 < f \leq 1400$	175
$1400 < f \leq 2300$	100
$2300 < f \leq 2850$	50
$2850 < f \leq 3085$	25
$3085 < f \leq 4000$	10
$4000 < f \leq 4750$	30
$27\,250 < f \leq 28\,000$	30
$28\,000 < f \leq 32\,000$	25
$32\,000 < f$	50

Cette exigence s'applique à un émetteur-récepteur sous tension, en mode à faible tension (émetteur débranché), ou séparé d'une source d'alimentation électrique.

7 Spécification du protocole d'accès au support

La spécification G.9951/2 (telle que décrite à la référence [1]) décrit un protocole de contrôle d'accès au support (MAC) qui est asynchrone, fondé sur la priorité, et utilise les techniques de CSMA/CD et de résolution de collision pour arbitrer l'accès au support et résoudre les collisions. La prise en charge par G.9951/2 de l'accès au support fondé sur la priorité fournit un mécanisme de base de qualité de service qui permet aux services d'être mis dans l'ordre conforme à la priorité. Pour fournir des garanties de qualité de service avec des caractéristiques de délai de latence et de gigue strictement encadrées, telles que celles requises par les services vocaux, audio et vidéo, un protocole MAC est nécessaire pour garantir la distribution de l'accès au support et éliminer la

survenue d'événements tels que des collisions sur le support, qui peuvent affecter la garantie des performances.

Le protocole MAC de G.9954 est un protocole synchrone qui inclut un mode de fonctionnement MAC asynchrone compatible avec le protocole MAC asynchrone de G.9951/2 (étant fondé sur celui-ci). Dans un réseau qui contient un appareil maître, l'accès au support est coordonné sous le contrôle de maître à l'aide d'un plan d'accès au support (MAP, *media access plan*). Le plan d'accès au support est diffusé périodiquement par le maître sous forme d'un message de protocole de couche Liaison (le message MAP). Le MAP sert à diviser le temps d'accès au support en une séquence d'opportunités de transmission (TXOP) dont les temps de début sont distribués avec précision et d'une longueur suffisante pour satisfaire les demandes de QS des différents services. Les TXOP peuvent être allouées à des services spécifiques (ou groupe de services) ou à des nœuds de réseau ou groupes de nœuds. En utilisant cette méthode, les nœuds G.9954 sont capables d'éviter les collisions en garantissant qu'ils ne vont jamais émettre durant le temps de support alloué spécifiquement à un autre nœud en restreignant leurs propres transmissions aux limites des TXOP qui leur sont allouées.

Le présent paragraphe décrit le protocole MAC G.9954, y compris les fonctions MAC asynchrone et synchrone utilisées pour coordonner l'accès au support partagé, et la commutation entre mode MAC synchrone et asynchrone.

7.1 Modes de fonctionnement

La couche MAC G.9954 doit prendre en charge deux modes de fonctionnement:

1) Mode MAC synchrone (SMAC) – utilisé dans un réseau contenant un appareil qui joue le rôle de maître de réseau G.9954;

2) Mode MAC asynchrone (AMAC) – utilisé dans un réseau où il n'y a pas de maître de réseau G.9954 en activité.

En présence d'un maître G.9954 sur le réseau, tous les appareils G.9954 doivent fonctionner en mode SMAC. Autrement, ils doivent fonctionner en mode AMAC.

La présence d'un maître G.9954 sur le réseau est détectée par la réception des messages du plan d'accès au support (MAP). A réception et décodage d'un message MAP, un appareil G.9954 doit cesser de fonctionner en mode AMAC et doit continuer de fonctionner en mode SMAC. Le changement de mode doit survenir dans les unités de temps MAC_MODE_SWITCH_TIMELIMIT après réception du message MAP.

Ceci implique qu'une fois un message MAP reçu et décodé, les accès au support suivants ne seront effectués qu'en accord avec la distribution décrite dans le MAP publié.

Les messages MAP sont attendus périodiquement en fonctionnement en mode SMAC. Le défaut de réception d'un message MAP dans l'intervalle SYNC_TIMEOUT (voir le § 7.3.8) après le dernier message MAP doit être détecté par un nœud G.9954 comme la fin du maître. Un maître peut aussi signaler son intention de mettre fin à son rôle de maître du réseau aux autres appareils du réseau en utilisant un bit de signalisation (SMAC_EXIT) dans le message MAP (voir le § 7.3.3.3). A détection d'une fin de maître ou d'une intention de mettre fin à son fonctionnement, un nœud G.9954 doit sortir du mode SMAC et passer en fonctionnement en mode AMAC.

Les modes de fonctionnement MAC de G.9954 et les transitions entre modes sont décrites dans les diagrammes de transition d'état suivants (Figure 7-1).

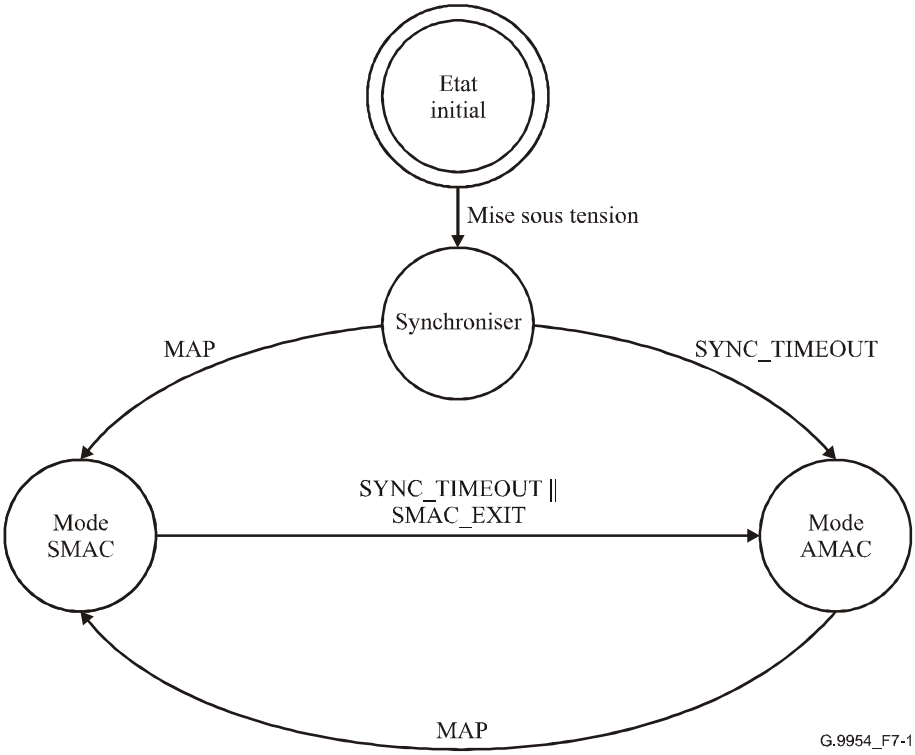

Figure 7-1/G.9954 – Modes de fonctionnement de G.9954 – Diagramme d'état

Lorsqu'un appareil G.9954 est mis sous tension, il doit d'abord essayer de se synchroniser à un cycle MAC existant en attendant un message MAP pendant un délai allant jusqu'à l'intervalle SYNC_TIMEOUT. Si un message MAP arrive dans l'intervalle SYNC_TIMEOUT, il suppose un réseau contrôlé par un maître et l'appareil G.9954 doit entrer en mode SMAC. Si aucun message MAP n'est reçu dans l'intervalle SYNC_TIMEOUT, on suppose un réseau sans maître et l'appareil G.9954 doit entrer en mode AMAC.

NOTE – Ceci implique qu'après la mise sous tension, un appareil G.9954 ne doit pas commencer à émettre en mode AMAC tant qu'au moins un intervalle SYNC_TIMEOUT n'est pas écoulé.

Le mode de fonctionnement courant d'un appareil G.9954 est indiqué par un fanion dans le message de couche Liaison de G.9954 Capacité et annonce d'état (CSA, *capability and status announcement*). Voir les fanions de capacité et annonce d'état dans la spécification de couche Liaison de G.9954 au § 10.

Si le réseau est détecté comme étant sans maître, un appareil G.9954 qui est capable de jouer le rôle de maître (appareil à capacité de maître), doit tenter d'assumer le rôle de maître du réseau en signalant son intention par l'utilisation du protocole SELECTION de maître de la couche Liaison.

Pour des informations complémentaires sur le protocole de choix d'un maître, voir la spécification de couche Liaison de G.9954 au § 10.

7.1.1 Mode MAC synchrone (SMAC)

Lorsqu'il fonctionne en mode SMAC, un appareil G.9954 ne doit effectuer l'accès au support qu'au sein des opportunités de transmission allouées (TXOP) décrites dans le MAP. Un appareil G.9954 peut émettre dans une TXOP si celle-ci est allouée à l'appareil ou au groupe auquel appartient cet appareil. Tous les appareils peuvent émettre dans des TXOP vacantes (non allouées) sur une base de concurrence.

Pour plus d'informations sur les TXOP, l'allocation de TXOP et les groupes d'appareils, voir le § 7.3.3.4 et ses sous-paragraphes.

7.1.2 Mode MAC asynchrone (AMAC)

Lorsqu'il fonctionne en mode AMAC, un appareil G.9954 effectue l'accès au support de la même façon que spécifié pour le protocole MAC de G.9951/2 bien qu'à des débits de symboles de charge utile potentiellement plus élevés et en utilisant l'agrégation de paquet (rafales de trame) pour améliorer l'efficacité du protocole.

La spécification complète du mode AMAC de G.9954 figure au § 7.2. La spécification de l'agrégation de paquet figure au § 7.4.

7.1.3 Commutation entre mode MAC synchrone et asynchrone

Un appareil G.9954 doit commuter entre mode SMAC et mode AMAC et vice versa en réponse à l'apparition ou la disparition d'un maître G.9954 sur le réseau. La commutation est transparente dans le sens où elle n'affecte pas la capacité des appareils G.9954 à émettre ou recevoir des données bien qu'elle puisse affecter la distribution de l'accès au support et par conséquent la qualité de service et le débit du réseau.

Lorsqu'il passe du mode SMAC au mode AMAC, un appareil G.9954 doit continuer à émettre les données associées au service conformément aux règles du protocole AMAC en utilisant le mécanisme AMAC de priorité. Lorsqu'il passe du mode AMAC au mode SMAC, un appareil doit établir des flux pour les services exigeant des garanties de qualité de service et doit transmettre les données conformément aux règles du protocole SMAC au sein des TXOP allouées.

La commutation entre les modes SMAC et AMAC ne doit pas causer la fin d'un service à moins qu'elle ne soit demandée par des couches de protocole supérieures.

7.2 Mode de fonctionnement MAC asynchrone

Chaque station d'un segment de réseau PNT, lorsqu'elle n'est pas en mode synchrone, exécute la fonction MAC asynchrone pour coordonner l'accès au support partagé. La commutation entre mode synchrone et asynchrone est décrite au § 7.1.3.

Les paramètres de distribution MAC pour le mode asynchrone sont définis au Tableau 7-1.

Tableau 7-1/G.9954 – Paramètres MAC

Section	Paramètre	Mini	Maxi	Unités
7.2.1 CSMA de base	NOMINAL_RMS_VOLTAGE	100	–	mVrms
	CS_RANGE	38	–	dB
	CS_IFG	29,0 – Δ	29,0 + Δ	microsecondes
	CS_DEFER	–	12,0	microsecondes
	minTrameSize	64	–	octets
	maxTrameSize	1526	Voir 7.2.7.1	octets
	TX_TRAME	92,5	Voir 7.2.7.1	microsecondes
	Durée d'aller retour (*round-trip time*, RTT) pour 1000 pieds.		3.0	microsecondes
	TX_ON	0	4.0	microsecondes
7.2.2 Priorité d'accès	PRI_SLOT	21,0 – Δ	21,0 + Δ	microsecondes

Tableau 7-1/G.9954 – Paramètres MAC

Section	Paramètre	Mini	Maxi	Unités
7.2.4 Détection de collision	CD_FRAG	70,0 – Δ	70,0 + Δ	microsecondes
	CD_MIN	32,0	–	microsecondes
	CD_THRESHOLD	–	92,0	microsecondes
	CD_RANGE	36	–	dB
	CD_OFFSET_EARLY	–	12,0	microsecondes
	CD_OFFSET_LATE	–	15,0	microsecondes
7.2.5 Résolution de collision durant le mode AMAC	attemptLimit	256	256	
	SIG_SLOT	32,0 – Δ	32,0 + Δ	microsecondes

La méthode d'accès au support CSMA/CD est le moyen par lequel deux stations ou plus partagent un canal de transmission commun. Pour émettre, une station attend (retarde ses émissions) une période tranquille sur le canal (c'est à dire, pas d'autre station en émission) puis envoie le message prévu modulé conformément à la spécification de la couche PHY. Le retard de la transmission est ordonné selon une gradation de priorité de huit niveaux, implémentant une priorité absolue parmi les stations en compétition pour l'accès. Si, après l'initialisation d'une transmission, le message entre en collision avec celui d'une autre station, chaque station émettrice cesse alors ses transmissions et résout la collision en choisissant un niveau de repli et se soumet aux autres stations qui ont choisi un niveau de repli plus bas. L'algorithme distribué pour le choix du niveau de repli garantit que le délai d'attente est étroitement encadré. Chaque aspect de ce processus de méthode d'accès est spécifié en détail dans les paragraphes suivants de la présente Recommandation.

Voir à la Figure 7-2 le schéma fonctionnel des fonctions MAC dans une station. Le bloc de détection de porteuse détecte les temps de début et de fin d'une transmission de trame valide sur le câble. Il est utilisé pour déterminer quand des trames sont présentes sur le canal, ainsi que pour déterminer la présence d'un signal BACKOFF20 dans un intervalle de signal. Le bloc de détection de collision détecte la présence d'une transmission de trame valide provenant de quelque autre station durant une transmission active, et pour toutes les stations, y compris celles qui n'émettent pas, détecte les fragments reçus qui représentent une transmission tronquée par une collision. Le bloc de résolution de collision met en œuvre l'algorithme distribué qui contrôle le repli (*backoff*).

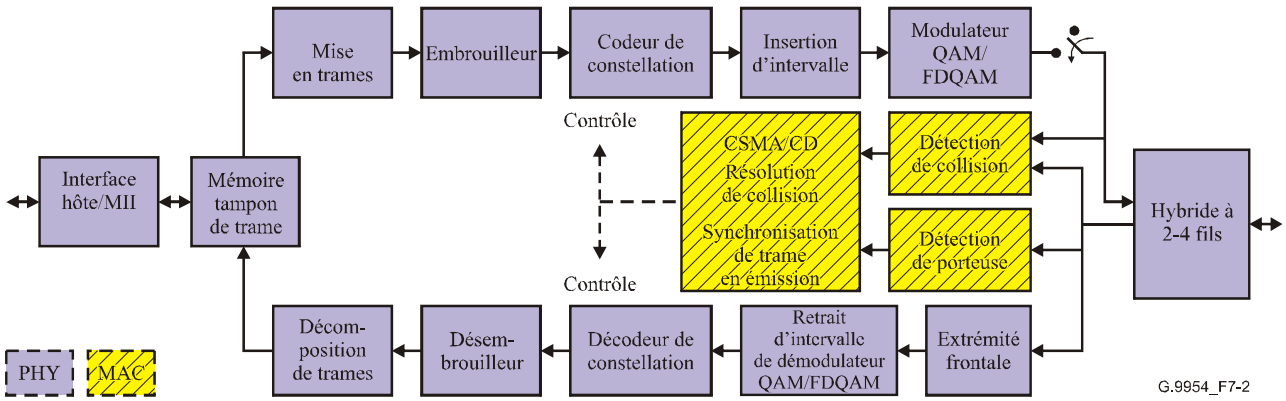

Figure 7-2/G.9954 – Schéma fonctionnel des émetteurs-récepteurs avec les fonctions MAC

Bien que les performances des blocs dans la fonction MAC dépendent de l'implémentation, certaines exigences minimales de performances sont spécifiées dans les paragraphes suivants pour assurer l'interopérabilité et la compatibilité du partage du canal.

7.2.1 CSMA de base

Le comportement CSMA de base est spécifié pour un émetteur et un récepteur.

7.2.1.1 Comportement de l'émetteur

Voir à la Figure 7-3 la description d'une transmission de trame valide par rapport à la fonction spécifiée de détection de porteuse (CS) (Trame CS valide).

NOTE – Une trame CS valide émise sera affectée par divers affaiblissements du signal lorsqu'elle est vue par un récepteur, et les limites de performances de la fonction CS dépendent de l'implémentation.

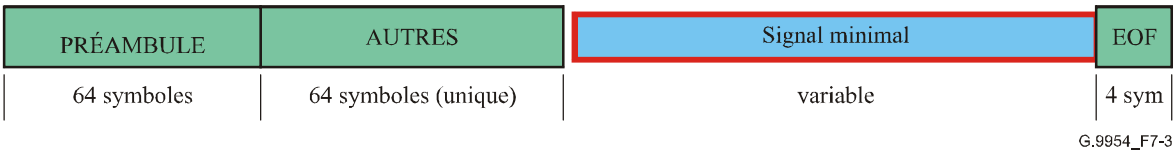

Figure 7-3/G.9954 – Trame CS valide

Une trame CS valide à l'interface W1 de *l'émetteur* a une longueur de TX_TRAME et se compose de:

1) une séquence de symboles dont la durée est égale ou supérieure à 92,5 µs (minimum de TX_FRAME), mais inférieure au maximum spécifié au § 7.2.7.1;
2) dont les premiers symboles (64 + 16 + 24 + 24 + 8) sont modulés au débit de base (2 Mbaud QPSK, 2 bits par symbole), où les 64 symboles initiaux constituent la séquence de préambule, où la séquence de 64 symboles suivants est unique pour la station émettrice, et où les 8 symboles suivants sont les bits (vraisemblablement non uniques) du champ Ethertype;
3) un signal minimal arbitraire , défini comme une séquence de symboles dont la valeur rms sur toute fenêtre de 8 µs ne doit jamais être de plus de 9 dB inférieure à 100 mVrms à travers une charge de 100 ohms (NOMINAL_RMS_VOLTAGE);
4) 4 symboles de la séquence EOF;
5) un transitoire de queue, dont la tension de crête ne doit pas dépasser 0,1 % de la tension de crête absolue émise à travers une charge de 100 ohms à tout point de l'interface W1 plus de 5 µs après le dernier symbole émis de la EOF;
6) un intervalle avant la prochaine transmission de cette station de CS_IFG microsecondes à partir du dernier symbole du EOF jusqu'au premier symbole du PREAMBLE de la prochaine transmission, mesuré à l'interface W1 de l'émetteur.

Lorsqu'une station détecte ce qui peut être une collision, elle doit terminer prématurément l'émission (voir le § 7.2.4).

Un fragment de collision valide à l'interface W1 de *l'émetteur* se compose de:

1) une séquence de symboles d'une durée (CD_FRAG) de 70,0 µs;
2) consistant en (64 + 16 + 24 + 24 + 8) symboles modulés au débit de base (2 Mbaud QPSK, 2 bits par symbole), où les 64 symboles initiaux constituent la séquence de préambule, et où la séquence des 64 symboles suivants est unique pour la station émettrice, suivie par 8 symboles supplémentaires;
3) 4 symboles de la séquence EOF;

4) un transitoire de queue, dont la tension de crête ne dépasse pas 0,1 % de la tension de crête absolue émise à travers une charge de 100 ohms en tout point de l'interface W1 plus de 5 µs après la transmission du dernier symbole de l'EOF;

5) un intervalle d'au moins CS_IFG + CD_THRESHOLD microsecondes à partir du premier symbole du PREAMBLE64 du fragment de collision valide jusqu'au premier symbole du signal BACKOFF20 dans le premier créneau de signal de repli (le cas échéant), mesuré à l'interface W1 de l'émetteur.

Il est seulement demandé aux récepteurs de détecter correctement les trames CS valides, les fragments de collision valides et le signal BACKOFF20 décrit au § 7.2.5.

L'intervalle intertrames doit être de 29,0 µs (CS_IFG), où l'intervalle est défini aux points auxquels la trame précédente tombe au-dessous de 50 % de sa valeur de crête et où la trame en cours passe au-dessus de 50 % de sa valeur de crête.

7.2.1.2 Comportement du récepteur

La distribution des trames ultérieures suivant une trame CS valide ou un fragment de collision valide est fondée sur la référence de distribution MAC, établie par le récepteur. Le temps qui suit une transmission est divisé en *créneaux*: un intervalle intertrames (IFG, *interframe gap*); trois créneaux de signal de repli (suivant les collisions); et 8 créneaux de priorité. Voir la Figure 7.4 et la Figure 7-5. Durant ces trois périodes de temps la couche MAC est *synchronisée* et la distribution des créneaux est définie par les règles des émissions valides du paragraphe précédent. Après le créneau de priorité 0, il peut y avoir une période de longueur arbitraire sans transmission, suivie par une ou plusieurs stations qui tentent l'émission. dans ce dernier cas, la couche MAC est *non synchronisée*.

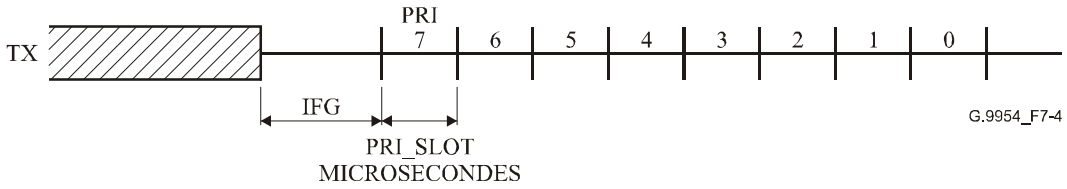

Figure 7-4/G.9954 – Créneaux de priorité

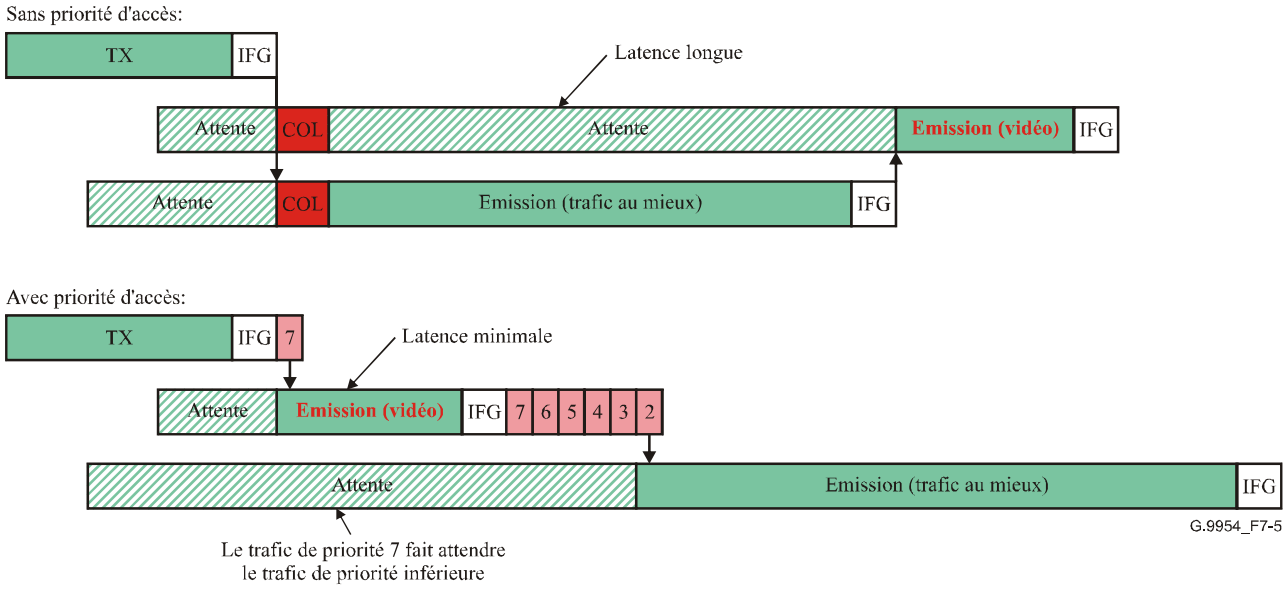

Figure 7-5/G.9954 – Exemple de priorité d'accès

Lorsque la distribution MAC est synchronisée, les stations doivent commencer une transmission pas avant 0 µs et pas après 4 µs (TX_ON) après un début de créneau, mesuré à l'interface W1 de l'émetteur.

La fonction de détection de porteuse du récepteur doit détecter une trame CS valide d'amplitude maximale sur un affaiblissement d'insertion de canal plat dans une gamme de 0 à au moins 38 dB (CS_RANGE) et un bruit ajouté avec une PSD plate de –140 dBm/Hz au récepteur avec un taux de trames manquées de moins de 10^{-4} et un taux de déclaration de fin de trame prématurées de moins de 10^{-4}, voir le § 6.9.1. Avec l'ajout de bruit blanc gaussien appliqué à l'entrée à une PSD de –110 dBm/Hz, le taux de détection de fausse porteuse ne doit pas être supérieur à 1 par seconde.

Lorsque la couche MAC est non synchronisée, le dernier délai où une station peut commencer à émettre après qu'une trame CS valide possible soit apparue à l'interface W1 doit être de 12 µs (CS_DEFER) à partir du premier symbole du PREAMBLE64 de la trame détectée, mesuré à l'interface W1 de la station. CS_DEFER est le délai maximal alloué à la détection de porteuse.

7.2.2 Priorité d'accès

Le système PNT peut être utilisé pour des flux de transport de média, tels qu'audio et vidéo. Pour réduire la variation de délai de latence dans ces flux, un mécanisme de priorité est implanté pour permettre aux couches supérieures d'étiqueter les trames sortantes avec une priorité, et garantir que ces trames auront un accès préférentiel au canal sur les trames de moindre priorité. La méthode de priorité d'accès mise en œuvre consiste à retarder les transmissions sur un *créneau* au-delà de l'intervalle minimal intertrames, sur la base du niveau de priorité de la trame en attente de transmission.

Les créneaux sont numérotés en ordre de priorité décroissante, commençant à la priorité 7. Les transmissions de priorité supérieures commencent la transmission dans les premiers créneaux et accèdent au canal sans entrer en compétition avec le trafic de moindre priorité. Le *créneau de priorité* d'une station est fondé sur le numéro de priorité PHY associé à la trame prête à être transmise (PRI), tel que déterminé par la pile de réseau et communiqué à la couche MAC; PRI est un champ dans le champ de commande de trame, décrit au § 6.3.3. La station utilise tout créneau ayant un numéro inférieur ou égal au PRI, normalement le créneau ayant exactement le numéro du PRI, et elle ne peut s'engager à émettre qu'au début d'un créneau de priorité, c'est-à-dire que si une station n'est prête à émettre une trame de PRI = 7 que seulement après le début du créneau de priorité 7, elle doit pour émettre attendre le début du créneau de priorité 6. Voir la Figure 7-4 pour la distribution relative dans le temps des créneaux de priorité. (Après le créneau de priorité 0, il n'y a plus de créneau de priorité, et toute station avec du trafic à tout niveau de priorité peut entrer en compétition sur la base du premier entré, premier servi. Toutes les collisions après le créneau de priorité 0 sont considérées comme survenant à PRI = 0.)

La largeur du créneau de priorité est de 21,0 µs (PRI_SLOT).

Aucune station ne doit émettre dans un créneau de priorité ayant un numéro plus élevé que la priorité (PRI) allouée à la trame en cours de transmission.

Les stations qui n'implémentent pas la priorité doivent avoir un PRI par défaut d'une valeur de 2 lorsqu'elles émettent.

Les stations qui attendent pour émettre doivent surveiller la détection de porteuse (CS) et attendre si CS était vrai avant le début du prochain créneau de priorité dans lequel elles peuvent émettre, ou au-delà du créneau de priorité 0, la station doit attendre si CS était vrai. Une station prête à émettre au début du prochain créneau de priorité dans lequel elle peut émettre doit émettre au début de ce créneau de priorité sans attendre, si CS était faux avant le début de ce créneau de priorité.

Voir à la Figure 7-5 un exemple de trafic vidéo au niveau de priorité 7 qui obtient l'accès en présence d'un trafic au mieux programmé au niveau 2.

Le temporisateur de créneau est redémarré s'il y a quelque autre transmission qui acquiert le canal alors qu'une station est en attente avec une priorité inférieure.

7.2.3 Mappage de priorité

La valeur du PRI est la priorité qu'utilise la couche MAC pour programmer les transmissions et c'est la valeur qui est présente dans le champ PRI de l'en-tête de trame. Cette valeur est déterminée par une couche supérieure dans la pile du réseau et la méthode d'étiquetage de priorité est en dehors du domaine d'application de la présente Recommandation. Le champ PRI sert à transporter l'étiquette de priorité de la source à la destination, pour aider la destination à gérer la file d'attente de réception. Les valeurs de priorité à trois bits sont désignées comme "priorités PHY". PRI = 7 a la plus forte priorité, PRI = 0 la plus faible.

Il peut y avoir un mappage entre les valeurs de priorités de couche PHY et celles de la couche Liaison (LL) lorsqu'elles sont livrées à la couche Liaison par la couche Réseau. Ce mappage est décrit dans la spécification du protocole de couche Liaison au § 10.

En général, la couche de réseau IP ou la couche Application va déterminer quelle politique est utilisée pour faire correspondre le trafic aux priorités de la couche LL. Par exemple, *IETF Integrated Services* (RFC 2815) définit actuellement la priorité 0 comme la priorité par défaut "au mieux", et la priorité 1 comme la priorité pénalisée "pire qu'au mieux" – et la plupart des implémentations vont transposer au mieux en PRI = 2 de couche PHY et pire qu'au mieux en PRI = 0 de couche PHY.

Le mécanisme de priorité de couche PHY est une priorité stricte (par opposition aux schémas qui allouent aux priorités inférieures un pourcentage minimal de capacité réseau) – la priorité de trafic la plus élevée fait toujours attendre le trafic de priorité inférieure. Le trafic de priorité supérieure sera limité par le contrôle d'admission ou un autre mécanisme de politique de couche Liaison pour prévenir l'inflation du marquage de priorité.

7.2.4 Détection de collision

Deux stations ou plus peuvent commencer à émettre dans le même créneau de priorité qui suit la période IFG. Toutes les stations surveillent le canal pour détecter les transmissions en collision des autres stations.

NOTE 1 – La ou les trames en collision seront reçues avec affaiblissement sur un canal, et les performances de la détection de collision sont dépendantes de l'implémentation, dans les limites de la présente Recommandation.

Voir la Figure 7-6. Les stations passives peuvent détecter les collisions en observant la longueur du fragment de transmission et la validité du PREAMBLE64 reçu.

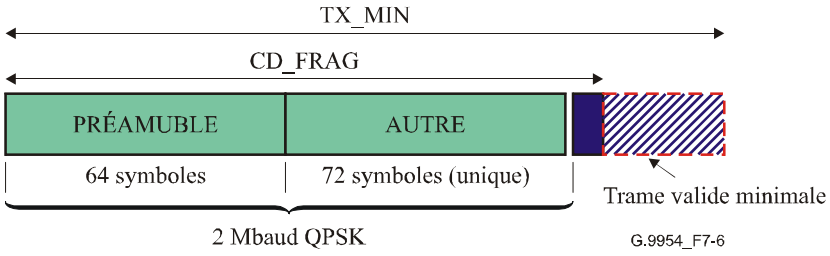

Figure 7-6/G.9954 – Longueur des collisions et non-collisions

Une trame CS valide est sûre d'avoir une séquence de symboles unique parmi les 128 premiers symboles (qui sont transmis au taux de base). L'adresse de source (SA) MAC Ethernet sert à garantir l'unicité. Ce champ est brouillé, mais le couple [SA brouillée, SI] sera unique. SI est le

champ d'initialisation d'embrouillage de 4 bits qui est défini dans la spécification de la couche PHY de G.9954 au § 6.

Après détection d'une collision, une station doit continuer à émettre à travers le champ Ethertype suivi par une séquence EOF (symbole 139) et cesser ensuite la transmission.

Ainsi donc, une station détectant une collision va cesser la transmission au plus tard 70,0 µs (CD_FRAG) après le début de la trame mesurées à l'interface W1. La taille minimale d'une trame CS valide est de 92,5 µs (TX_MIN).

Aucun signal d'encombrement n'est émis sur collision.

Les stations passives, qui ne sont pas en émission, doivent surveiller la longueur des événements de détection de porteuse et générer une indication de fragment de collision auprès de la fonction de résolution de collision si la durée de la porteuse est inférieure à 92 µs (CD_THRESHOLD *(seuil de détection de collision)*).

Les stations ne doivent pas reconnaître d'événements de porteuse plus courts que 32,0 µs (CD_MIN) comme des collisions.

Toutes les stations passives et en émission doivent être capables de détecter la collision de toute transmission de trame CS valide à amplitude maximale reçue sur une gamme d'affaiblissement d'insertion de canal plat de 0 à 36 dB (CD_RANGE *(gamme de détection de collision)*) et un ajout de bruit avec une densité de PSD plate de –140 dBm/Hz au récepteur avec un taux d'erreur de collisions manquées de moins de 10^{-4} et un taux d'erreur de fausses collisions de moins de 10^{-3}, où l'origine des trames en collision est décalée n'importe où par rapport au premier symbole de la trame émise depuis l'avant jusqu'à un maximum de 12 µs (CD_OFFSET_EARLY *(décalage amont de détection de collision)*) vers l'arrière jusqu'à un maximum de 15 µs (CD_OFFSET_LATE *décalage avall de détection de collision)*). Les mêmes exigences doivent être satisfaites sur la boucle 9 donnée à l'Annexe B.

NOTE 2 – Lorsqu'une collision est manquée, la probabilité d'erreurs détectées et non détectées dans les données de charge utile est améliorée, et les implémentations de détection de collisions devraient être biaisées par rapport aux erreurs de fausses collisions, qui sont plus inoffensives.

7.2.5 Résolution de collision durant le mode AMAC

Une collision survient lorsque deux stations ou plus sont actives avec des trames prêtes et sont en compétition pour l'accès au canal approximativement au même moment; généralement les collisions sont entre des trames qui sont au même niveau de priorité. Un algorithme distribué de résolution de collision (CR) est lancé qui a pour résultat d'ordonner les stations selon des niveaux de repli dans lesquels une seule station se trouve au niveau de repli 0 et peut donc acquérir le canal. Après que la station gagnante a terminé sa transmission, toutes les stations réduisent leur niveau de repli d'un s'il est supérieur à zéro, et la ou les nouvelles stations au niveau de repli 0 tentent la transmission. Toutes les stations, même celles qui n'ont pas de trame à transmettre, surveillent l'activité sur le support. Le cycle de résolution de collision est clos, de sorte que les stations qui ne sont pas entrées en collision ne sont pas admises à concourir pour l'accès au support jusqu'à ce que toutes les stations ayant eu une collision aient réussi à transmettre une trame ou aient perdu leur droit à transmettre leur trame en attente. A la fin, toutes les stations qui étaient en compétition pour l'accès dans la collision initiale obtiennent l'accès au câble et le cycle de résolution de collision se termine. Il en résulte que le délai d'accès est étroitement encadré.

Ce mécanisme diffère du repli exponentiel binaire (BEB, *binary exponential backoff*) qui sert dans d'autres versions d'Ethernet, en ce que le niveau de repli ne détermine pas le créneau de compétition choisi par une station – toutes les stations à un niveau de priorité donné concourent toujours dans le créneau correspondant à la priorité d'accès. Au lieu de cela, les stations aux niveaux de repli différents de zéro se retiennent de concourir jusqu'à ce que les stations qui sont au niveau de repli

zéro émettent. La méthode utilisée s'appelle File d'attente à priorité de distribution équitable (DFPQ, *distributed fair priority queuing*).

Chaque station maintient huit compteurs de niveau de repli (BL, *backoff*), un pour chaque priorité. Les compteurs de niveau de repli sont initialisés à 0.

Le niveau de priorité d'une collision peut être déduit du créneau de priorité dans lequel est survenue la collision.

Considérons le cas où des stations ne concourent que sur une seule priorité. Après une collision et un intervalle IFG, trois créneaux spéciaux *Signal de repli* (S0…S2) sont présents avant que ne survienne la séquence normale de créneaux de concours de collision. Voir à la Figure 7-7. Les créneaux de Signal ne surviennent qu'après les collisions, ils ne suivent pas les transmissions réussies.

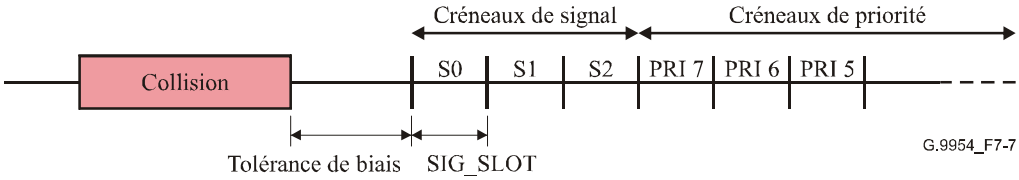

Figure 7-7/G.9954 – Créneaux de signal

Chaque station active choisit de façon pseudo aléatoire un des créneaux et émet un signal BACKOFF20, défini ci-dessous; l'Appendice VII expose une méthode possible pour la génération d'un numéro de créneau pseudo aléatoire. Plusieurs stations peuvent émettre un signal BACKOFF20 dans le même créneau. Les stations actives émettent le signal BACKOFF20 pour indiquer les informations d'ordonnancement qui déterminent les nouveaux niveaux de repli à utiliser.

Pour une transmission sur le niveau de priorité 7 de la couche PHY, une station peut au choix utiliser le protocole de gestion de collision (défini au § 10.12) pour préallouer de façon dynamique une séquence unique de valeurs de créneaux de collision qui assurent une résolution de collision déterministe entre les stations qui implémentent ce protocole. Pour un cycle de résolution de collision de priorité 7 de couche PHY donné, au lieu de choisir un créneau de façon aléatoire, une station suivant ce protocole choisirait des créneaux successifs, comme spécifié par la séquence de collision préallouée. Une valeur dans la gamme [0,2] pour s<x> indique un créneau de signalisation spécifique à utiliser à la suite de la <x>ème collision, alors que la valeur de 3 indique l'utilisation d'une valeur aléatoire choisie par la station au moment de la collision.

Toutes les stations (même celles sans trame prête à être émise) surveillent les événements de collision et les créneaux de signal de repli pour calculer le niveau de repli. Si une station active voit un signal BACKOFF20 dans un créneau avant celui qu'elle a choisi, elle doit augmenter son niveau de repli. Les stations qui sont au niveau de repli 0 (celles qui concourent activement) qui ne voient pas de signaux BACKOFF20 avant celui qu'elles ont choisi, doivent rester au niveau de repli 0 et concourir pour la transmission dans le créneau de priorité égal au PRI qui suit immédiatement la séquence de signal BACKOFF20. Finalement, une seule station reste au niveau de repli 0 et gagne l'accès au canal. Les stations qui ont des trames en attente à un niveau de priorité plus élevé peuvent préempter la résolution de collision en émettant dans un créneau de priorité supérieure.

Toutes les stations, même celles qui ne concourent pas pour l'accès au câble, maintiennent aussi un compteur de niveau de repli maximal (MBL, *maximum backoff level*) par niveau de priorité, qui est incrémenté pour chaque signal BACKOFF20 vu et décrémenté lorsque survient une transmission réussie. Le MBL est différent de zéro chaque fois qu'un cycle de résolution de collision est en cours. Lorsqu'une station devient active pour la première fois, le MBL est différent de zéro, le niveau de

repli est initialisé au contenu du [MBL], autrement, le niveau de repli est initialisé à 0. Ceci garantit que toutes les stations actives obtiennent l'accès au canal avant que des stations ne puissent revenir dans la file d'attente.

Le signal BACKOFF20 doit être une séquence de symboles consistant en 16 symboles de la séquence de préambule (TRN16) transmise, suivis de la séquence de 4 symboles d'EOF. Les stations doivent détecter le ou les signaux BACKOFF20 dans un créneau de signal de repli même si plus d'une station choisit le même créneau.

Les stations doivent implémenter la saturation à quatre bits du niveau de repli et du compteur de MBL.

La largeur du créneau de Signal doit être de 32,0 µs (SIG_SLOT). Le premier créneau de Signal est chronométré depuis la détection du début du premier des fragments de collision en recouvrement.

Les stations doivent implémenter la fonction MAC avec résolution de collision dont le comportement correspond au modèle procédural décrit au paragraphe suivant. La référence de chronométrage dans le pseudo code du paragraphe 7.2.6 se réfère au signal de détection de porteuse et non au signal à l'interface W1.

7.2.6 Modèle procédural d'accès au support

Le modèle procédural utilise un pseudo-code modélisé d'après le Pascal Concurrent. Voir au § 4.2.2 de la norme 802.3 1998 de l'IEEE un aperçu général de ce pseudo-code. Quelques libertés supplémentaires mais évidentes ont été prises avec la syntaxe utilisée ici. Le pseudo-code suppose qu'il n'y a pas de délai entre la détection de porteuse et l'arrivé du signal à l'interface W1. Et donc, les implémentations doivent tenir compte des délais d'implémentation supplémentaires.

Le code modélise trois processus concurrents indépendants (sursis, émetteur, récepteur), qui interagissent par l'intermédiaire de variables partagées. Le processus de Sursis est commandé par la détection de transmissions sur le canal, et donne des limites dans le temps aux créneaux de Signal et de priorité. La variable partagée `currentPriority` signale au processus Emetteur quand existe un créneau de transmission.

```
{Sursis:
 Boucle, recherche de détection de porteuse, et lorsqu'elle est trouvée
déterminer si la
 transmission était une collision ou une trame valide.

 Si c'était une collision, traiter les créneaux de signal et lancer l'algorithme
 de résolution de collision.
 Dans tous les cas, traiter alors les créneaux de priorité, en cherchant la
porteuse.

 Le niveau de priorité "en cours" est strictement depuis le créneau où est
survenue la
 dernière collision.

 Les compteurs de niveau de repli (BL) et de niveau maximal de repli (MBL)
 saturent à 0 et 15.}

Const
   nPriorities = 8;   {Nombre de niveaux de priorité}
   nSignals = 3; {Nombre de créneaux de signal}
   nLevels = 16; {Nombre de niveaux de repli}

traiter Sursis;
commencer
   currentPriority:= 0; {Priorité du créneau où on est}
   cycle {boucle de sursis}
      sawTrame:= faux;
```

```
      sawCollision:= faux;
      alors que pas carrierSense() ne rien faire; {attendre l'apparition de la
      porteuse}
      mettre en sursis:= vrai;
      startTime:= heure();
      stopTime:= startTime;
      alors que carrierSense() faire
          stopTime:= heure();
      si ((stopTime - startTime > CD_MIN) et
          (stopTime - startTime < CD_THRESHOLD)) ou collisionSense()
          alors sawCollision:= vrai
      ou si sawTrame:= vrai;
      {Après une collision, traiter les trois créneaux de signal}
      si sawCollision alors
      commencer
         {attendre jusqu'à la fin de l'IFG, chronométré depuis le début du
         fragment qui réduit le biais, dans la mesure où l'incertitude de début
         de porteuse est inférieure à l'incertitude de fin de porteuse)
         alors que (heure() - startTime < CS_IFG + CD_THRESHOLD) ne rien
         faire();
         calculerSignaux();
         pour (i:= 0; i < nSignals; i++)
         commencer
            startTime:= heure();
            signal[i]:= 0;
            si signalSlot = i alors envoyerSignal();
            alors que (heure()-startTime < SIG_SLOT) faire
               si carrierSense() alors signal[i]:= 1;
         fin;
         traiterSignals();
      fin;
      si (pas de sawCollision) alors
      commencer
         {attendre jusqu'à la fin de l'IFG}
         alors que (heure() - stopTime < CS_IFG) ne rien faire();
         {Si la dernière transmission était réussie, laisser tomber les niveaux
         de repli}
         BL[PrioritéEn-cours]:= saturer(0,nNiveaux-1,BL[PrioritéEn-cours]-1);
         MBL[PrioritéEn-cours]:= saturer(0,nNiveaux-1,MBL[PrioritéEn-cours]-1);
      fin;
          {éviter les aléas de distribution avec l'émetteur, PrioritéEn-cours
           doit être établi avant que la mise en sursis ne soit supprimée}
      PrioritéEn-cours:= nPriorités-1;
      mise en sursis:= faux;
      {Aller maintenant à la fin de la temporisation des créneaux de priorité
          (mise en concurrence)}
      pour (i:= nPriorités-1; i>=0; i--)
      commencer
         slotTime:= heure();
         PrioritéEn-cours:= i;
         alors que (heure()-slotTime < PRI_SLOT) do
            si détection-de-porteuse() alors fin de cycle;{recommencer boucle de
            sursis}
         {si le créneau de priorité est passé sans compétiteurs, ce niveau de
         priorité doit être inactif, il est de bonne pratique de vérifier que
         les compteurs de repli sont réinitialisés}
         BL[PrioritéEn-cours]:= 0;
         MBL[PrioritéEn-cours]:= 0;
      fin;
   fin; {cycle}
fin; {Sursis}

{calculDeSignaux: Déterminer quels signaux envoyer}
fonction computeSignals();
```

```
commencer
   signalSlot:= -1; {-1 signifie pas de signal à envoyer, initialisation}
   si (txPrêt et txPriorité = PrioritéEn-cours) et BL[txPriority]=0) alors
       si (txPriority = 7 et activeCSSClient) alors
         {valeur facultative de créneau de collision allouée par CSS pour
         priorité 7 de PHY}
         si (slotSequence[Ncollisions] = 3 ou Ncollisions > 8) alors
            signalSlot = entierAléatoire(nSignals); {Utiliser une valeur
            aléatoire}
         autrement
            signalSlot = slotSequence[Ncollisions]; {Utiliser la valeur allouée}
      autrement
         {Choix de créneau de signal aléatoire normal}
          signalSlot = entieraléatoire(nSignals); {choisir le créneau de signal
          de repli}
fin; {calculerSignaux}


{traiterSignaux:  Traiter les signaux reçus, régler les niveaux de repli}
fonction processSignals();
commencer
   psignals:= 0;
   pour (i=0; i < nSignals; i++)
      si signal[i] alors psignals++;
   si (txPrêt et (txPriorité = PrioritéEn-cours)) alors
   commencer
      niveauRepli:= BL[PrioritéEn-cours];
      si niveauRepli = 0 alors
      commencer
         tem:= 0;
         pour (i=0; i < signalSlot; i++)
            si signal[i] alors tem++;
         BL[PrioritéEn-cours]:= saturer(0,nNiveaux-1,tem);
      fin;
      si niveauRepli > 0 alors
         si psignals > 0 alors
            BL[PrioritéEn-cours]:=
               saturer(0,nNiveaux-1,niveauRepli + psignals-1);
   fin;
   si psignals > 0 alors
   commencer
      si MBL[PrioritéEn-cours] = 0 alors MBL[PrioritéEn-cours]:= psignals;
      autrement MBL[PrioritéEn-cours] = saturer(0,nNiveaux-1,MBL[PrioritéEn-
      cours]
                                                        + psignals-1);
   fin;
fin; {traiterSignaux}

{Emetteur:  Attendre txPrêt et txPriorité du traitement de niveau Liaison.
 envoyer txFini lorsque la trame a été envoyée.}
traiter Emetteur;
commencer
   cycle
      alors que (pas txPrêt) ne rien faire
      BL[txPriorité]:= MBL[txPriorité];
      Ncollisions = 0;
      alors que (pas (txPriorité ≥ PrioritéEn-cours et BL[txPriorité]=0)
             ou mise en sursis)
         ne rien faire
      ttime:= heure();
      xmtDataOn(); {commencer la transmission des données}
      alors que xmtBusy() et (heure() - ttime < CD_FRAG) faire
      commencer
         si collisionSense() alors
```

```
        commencer
           xmtDataOff();{couper, après envoi du fragment de collision minimale}
           Ncollisions++; {expiration de la  limite de collision en excès}
           si Ncollisions = attemptLimit-1 alors txterminé();
           findecycle;
        fin;
     fin;
         alors que xmtBusy() ne rien faire();
     txPrêt:= faux;
     txTerminé();     {signaler au niveau liaison que la trame a été transmise}
   fin; { cycle }
fin; { Emission }

{détectionCollision: }
fonction détectionCollision();
commencer
  { Lors de l'émission, détecter la présence d'une seconde transmission.
    En réception, détecter les transmissions en recouvrement}
fin; { détectionCollision }

{Récepteur: }
traiter Récepteur;
commencer
  { Attendre la détection de porteuse.  Démoduler les signaux reçus dans des
  trames. Rejeter les fragments de collision. Déterminer les limites de trame.
    Vérifier FCS. Filtrer sur la base de l'adresse de destination. Effectuer la
    signalisation
    facultative de couche Liaison et autres fonctions de contrôleur.}
fin; { Récepteur }
```

7.2.7 Paramètres MAC asynchrones

Le présent paragraphe détermine les paramètres AMAC, pour supplanter toute autre valeur de ces paramètres d'autres parties de la présente Recommandation. Lorsqu'une tolérance est indiquée, $\Delta = 63$ nanosecondes (voir Tableau 7.1).

7.2.7.1 Tailles minimales et maximales de trame de niveau Liaison

La trame de niveau Liaison se compose des champs depuis l'adresse de destination jusqu'à la vérification FCS, avant l'incorporation de trame au niveau de la couche PHY. Toutes les stations PNT doivent transmettre les trames de niveau Liaison avec un minimum de 64 octets. Le champ de charge utile des trames de niveau Liaison qui sont plus petites que minTrameSize doit être bourré avec des octets de n'importe quelle valeur ajoutés après la charge utile fournie, pour donner à la trame la longueur minTrameSize.

La trame standard Ethernet maximale est de 1518 octets, mais certaines incorporations de couche Liaison de PNT peuvent ajouter des octets supplémentaires.

Toutes les stations PNT doivent être capables d'émettre et de recevoir des trames de couche Liaison jusqu'à 1526 octets. Aucune station PNT ne doit transmettre de trame de niveau Liaison de plus de 512 octets × bits par symbole × baud. Le nombre d'octets spécifié va de l'adresse de destination jusqu'à la vérification FCS, et ne compte pas le préambule, l'en-tête, le CRC-16 ou le PAD ni EOF. Il en résulte une durée maximale de trame (valeur maximale de TX_TRAME) de 4166 µs pour une trame avec PE = 15. Une station G.9954 doit mettre par défaut la trame de longueur maximale qu'elle enverra à une adresse de destination donnée à 1526 octets jusqu'à ce qu'elle puisse déterminer si le récepteur peut prendre en charge des unités de transmission plus importantes (par exemple, en utilisant l'annonce de CSA de CSA_MTU, voir "Protocoles de liaison pour G.9954").

Ces maximums établissent une limite supérieure à la durée d'une transmission donnée et une limite supérieure à la taille maximale de trame que le récepteur doit traiter.

7.3 Fonctionnement du mode MAC synchrone

Chaque station d'un segment de réseau G.9954, en présence d'un appareil maître G.9954, doit exécuter la fonction MAC synchrone pour coordonner l'accès au support partagé.

Les paramètres de distribution MAC pour le mode SMAC se fondent sur les mêmes paramètres de distribution que pour le mode AMAC et sont définis aux § 7.3.7 et 7.3.8.

Dans un réseau synchrone, l'accès au support est contrôlé par le maître en utilisant un Plan d'accès au support (MAP). Le MAP spécifie la distribution de l'accès au support sur le réseau. Le temps d'accès au support, dans le MAP, est divisé en opportunités de transmission (TXOP) de longueur et d'heure de début spécifiées qui sont allouées pour des appareils spécifiques du réseau conformément à leurs demandes de ressources. La distribution de l'accès au support est planifiée de telle sorte que les collisions soient normalement évitées. Les collisions peuvent cependant toujours survenir au sein d'une opportunité de transmission qui est conçue comme étant une période de compétition (CP). Pendant les périodes de compétition, la méthode d'accès au support utilisée par les nœuds G.9954 doit se fonder sur la fonction AMAC, sauf que les transmissions sont limitées à la fin de la période de compétition. Les collisions sont de même traitées en utilisant la méthode AMAC de résolution de collision (DFPQ), décrite au § 7.2.5. Le processus de résolution de collision est limité ou non limité au sein de la période de compétition, selon la décision de politique du maître, comme signalé dans le MAP.

Les détails du protocole SMAC sont décrits dans les paragraphes suivants.

7.3.1 Appareils de réseau et identifiants d'appareil (DEVICE_ID)

Les appareils G.9954 sont identifiés par leur adresse MAC universelle de 48 bits unique au monde.

Les appareils G.9954 qui demandent des contrats de qualité de service doivent s'enregistrer auprès du maître et s'identifier en utilisant leur adresse MAC universelle de 48 bits unique au monde. L'adresse MAC est utilisée par le maître, durant l'admission au réseau, comme une clé unique de l'identification d'appareil.

Un appareil de réseau G.9954 qui a été admis sur le réseau synchrone G.9954 par le maître se voit allouer une adresse *courte*, connue sous le nom de DEVICE_ID. Le DEVICE_ID sert à identifier l'allocation des TXOP aux appareils. Un appareil G.9954 est informé de son DEVICE_ID alloué par le maître durant le protocole d'admission au réseau, voir le § 10.15.

NOTE – La forme d'adresse courte est utilisée aussi bien pour l'efficacité du protocole qu'afin de garantir que les appareils demandant des garanties de qualité de service passent par un processus d'admission au réseau explicite afin d'utiliser les ressources du support.

Le DEVICE_ID du réseau est une structure de 6 bits avec des valeurs dans la gamme de 0 à 63. Les DEVICE_ID sont uniques au sein du réseau.

Les DEVICE_ID suivants sont définis:

Tableau 7-2/G.9954 – Définition de DEVICE_ID

Nom d'appareil	DEVICE_ID	Description
NULL DEVICE	0	Le DEVICE_ID NEANT (indéfini).
Master DEVICE	1	Identité du maître de réseau G.9954 choisi.
Réservé	2 à 63	Les DEVICE_ID sont réservés pour affectation aux appareils G.9954 à capacité de qualité de service admis.

7.3.2 Flux de service et identifiants de flux (FLOW_ID)

Un flux de service (ou un *flux* en abrégé) est un canal de communication logique à un seul sens (simplex) entre un appareil de source et un appareil de destination. Il est orienté service et défini par le type d'informations qu'il transporte. Un appareil peut prendre en charge plusieurs flux de service et chaque flux de service est alors identifié par un FLOW_ID.

Un FLOW_ID est un nombre à 4 bits dans la gamme de 0 à 15. Un flux est identifié de façon univoque dans le réseau par le tuplet (Adresse de source, Adresse de destination, Identifiant de flux). Ceci implique qu'il peut y avoir jusqu'à 15 flux entre un appareil de source et un appareil de destination étant donné que le FLOW_ID à la valeur 0 représente le FLOW_ID néant (indéfini).

7.3.3 Distribution MAC synchrone

7.3.3.1 Le cycle MAC

L'accès au support en mode SMAC est effectué dans le contexte d'un cycle MAC périodique. Chaque période du cycle MAC commence avec la transmission d'un Plan d'accès au support (MAP) par le maître et se termine à la fin de la période planifiée d'accès au support décrite dans le MAP. Les appareils de réseau G.9954 doivent se synchroniser avec le cycle MAC en détectant la présence d'un message MAP et en effectuant l'accès au support conformément au plan d'accès au support décrit dans le MAP. Le MAP décrit l'allocation d'*Opportunités de transmission* ou *TXOP* aux appareils et/ou flux de service dans le réseau. Les TXOP sont décrites par leur heure de début, leur durée et par l'appareil et ou service qui peut émettre pendant la TXOP. Les références de distribution au sein du MAP se rapportent au début du cycle MAC que décrit le MAP. Le début du premier symbole du PREAMBLE de la transmission du MAP reçu représente l'instant zéro.

Le MAP doit décrire les TXOP dans le cycle MAC qui suit immédiatement le cycle dans lequel le MAP est reçu. Cela signifie que le message MAP qui commence le cycle MAC N décrit les TXOP dans le cycle MAC N + 1. Ceci est illustré à la Figure 7-8.

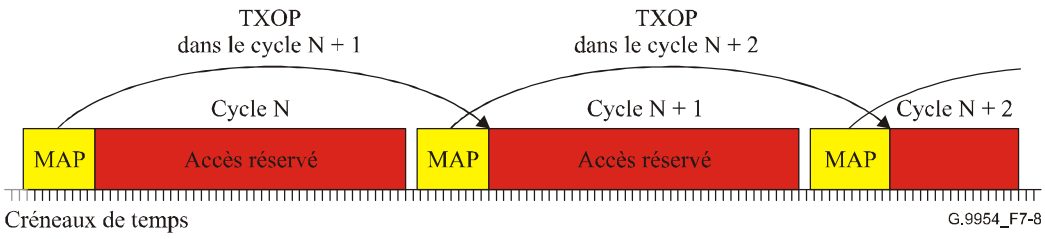

Figure 7-8/G.9954 – Cycle MAC et référence de MAP

Les cycles MAC sont séparés par un Intervalle intercycles (CS_ICG). Un Intervalle intercycles est une période minimale garantie pendant laquelle le support est inactif sur la base de la fonction de détection de porteuse. L'intervalle est mesuré depuis le dernier symbole du EOF de la dernière

trame du cycle MAC jusqu'au premier symbole du PREAMBLE de la transmission du MAP. Dans un cycle MAC, les rafales sont séparées par un Intervalle intertrames (MAP_IFG) défini au § 7.3.3.3.

Le maître G.9954 doit allouer du temps de support pour les CS_ICG et les MAP_IFG et l'encoder dans la définition des TXOP décrites dans le MAP. Chaque TXOP doit contenir un temps de support qui inclut l'intervalle avant la prochaine transmission.

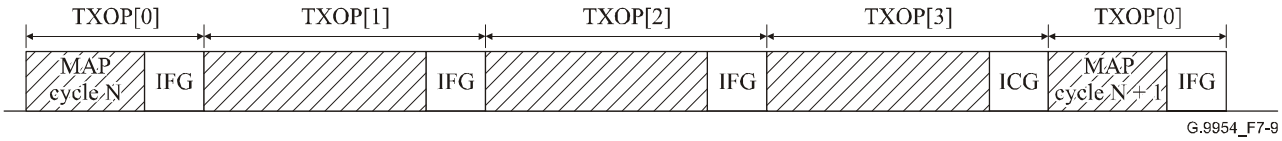

Figure 7-9/G.9954 – Comptabilité des MAP_IFG et des CS_ICG

La longueur réelle d'un CS_ICG et d'un MAP_IFG est définie au § 7.3.8.

7.3.3.2 Longueur du cycle MAC

Les cycles MAC sont périodiques et normalement de longueur constante. La longueur réelle du cycle MAC peut varier de CYCLE_MIN à CYCLE_MAX de façon dynamique d'un cycle à l'autre selon les contraintes et décisions de programmation.

La longueur du cycle MAC que décrit un MAP est codée implicitement dans le MAP.

Dans la mesure où le MAP décrit le plan d'accès au support pour le prochain cycle MAC, il faut toujours deux cycles MAC pour qu'une modification de longueur de cycle MAC prenne effet. Ceci est illustré dans la Figure 7-10.

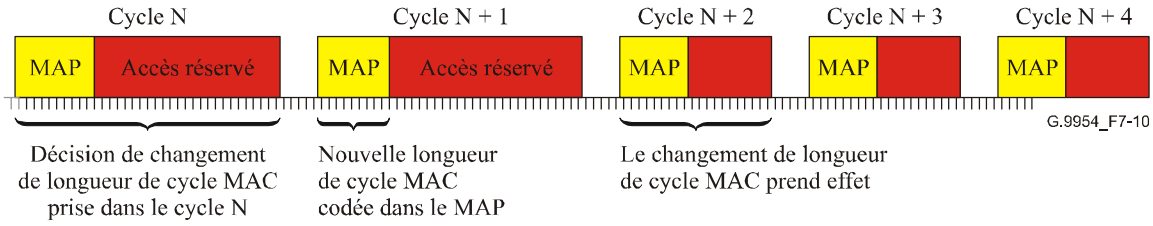

Figure 7-10/G.9954 – Longueurs variables de cycle MAC

7.3.3.3 Le plan d'accès au support (MAP)

La trame de commande de MAP signale le début d'un cycle MAC (le cycle MAC "en cours") et décrit les TXOP planifiées dans le "prochain" cycle MAC. Le cycle MAC "en cours" est identifié par le numéro de séquence contenu dans la trame MAP qui commence le cycle. Le "prochain" cycle MAC est le cycle MAC qui suit le cycle MAC "en cours" et contient un numéro de séquence supérieur de un au compte du cycle MAC "en cours" selon l'arithmétique modulaire.

La couverture du plan d'accès au support décrit par la trame MAP est seulement d'un cycle MAC. Dans la mesure où une trame MAP décrit le plan d'accès au support pour le prochain cycle MAC, un MAP devient "en cours" au commencement du prochain cycle MAC et reste "en cours" jusqu'au commencement du cycle MAC suivant. Les informations contenues dans un MAP deviennent périmées à la fin du cycle MAC qu'elles décrivent.

Un appareil de réseau G.9954 NE DOIT PAS émettre pendant un cycle MAC pour lequel il ne détient pas un MAP valide et à jour (en cours).

Une trame MAP doit être identifiée par une trame avec un Type de trame (FT = 0x90) (c'est-à-dire, Sous-type de trame (FS = 0x01)) et elle a la structure décrite dans la Figure 7-11:

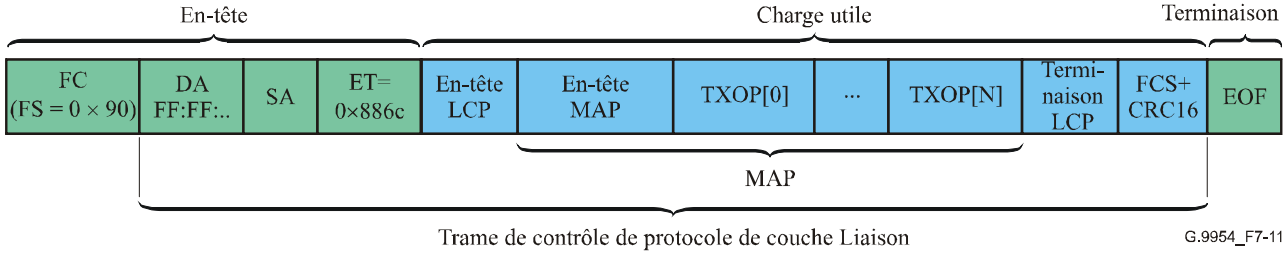

Figure 7-11/G.9954 – Structure de trame MAP

La trame MAP doit être codée comme une trame de protocole de commande de couche Liaison (LCP) avec les composants de charge utile formés d'un en-tête MAP de longueur fixe suivi par un tableau des TXOP de longueur variable. Le nombre de TXOP du MAP est codé dans l'en-tête MAP. La taille d'une trame de commande de MAP ne doit pas dépasser la taille d'une trame Ethernet standard (c'est-à-dire, une charge utile de 1500 octets).

Pour une trame Ethernet standard d'une taille de charge utile de 1500 octets, il y a 1480 octets disponibles pour le tableau des TXOP de longueur variable (après retrait des en-têtes LCP et MAP). Cela signifie que le nombre d'entrées de TXOP dans le tableau ne doit pas dépasser 370. Etant donné qu'au maximum un cycle MAC a une taille de 50 ms, et qu'une trame a une taille minimale de 92,5 µs + 29 µs (GAP), le nombre maximal théorique d'entrées de MAP est limité à 50 000/(92,5 + 29) = 411 TXOP. En pratique, le nombre de TXOP dans un MAP est supposé être significativement inférieur à cette limite théorique, de l'ordre de quelques dizaines d'entrées.

NOTE – Le format de trame de commande de Liaison sert de commodité afin de permettre au MAP d'être passé plus facilement aux couches de protocole supérieures (pouvant résider dans la pile de pilotage derrière une interface IEEE 802.3 standard).

La trame MAP doit toujours être envoyée à l'adresse de destination de "diffusion" et son contenu entier doit être transmis en utilisant le codage de constellation le plus robuste (Gabarit n° 2, 2 Mbaud et 2 bits par symbole – PE = 33).

Le MAP contient les informations suivantes (voir le Tableau 7.3):

Tableau 7-3/G.9954 – Informations du MAP

Nom du champ	Taille du champ [bits]	Description
EN-TÊTE MAP	3 × 32	
• ControlField *(Champ de contrôle)*	32	Ensemble de champs de contrôle utilisés pour contrôler le comportement des nœuds de point d'extrémité. Le codage de ce champ est décrit ci-dessous:
• • Modified *(Modifié)*	1	Indique que le tableau de TXOP défini dans ce MAP est différent du tableau de TXOP défini dans le "précédent" MAP où "précédent" est défini comme le MAP envoyé dans le cycle MAC "précédent" avec un *Numéro de séquence* inférieur de un au *Numéro de séquence* "en cours"(comptage en arithmétique modulaire). 0 MAP est le même qu'au cycle "précédent". 1 MAP a changé depuis le cycle "précédent". Ce fanion peut être utilisé par un point d'extrémité pour optimisation locale.
• • CycleLatency RepairMethod *(Méthode de réparation du délai de latence du cycle)*	2	La méthode de réparation de délai de latence de cycle à utiliser par les points d'extrémité lorsque le début du cycle MAC (indiqué par le moment d'arrivé du MAP) est retardé par rapport au temps d'arrivée programmé. Pour plus de détails voir le § 8.6.4 ci-dessous. 0 Aucune – Ne pas utiliser de technique de réparation de délai de latence au début d'un cycle. 1 Régler l'horloge – Ajuster du décalage du délai l'horloge utilisée pour distribuer les transmissions SMAC en début de cycle. 2-3 Réservé pour utilisation future.
• • Collision Resolution Method *(Méthode de résolution de collision)*	2	Méthode de résolution de collision (CR) à utiliser pour résoudre les collisions durant les TXOP définies comme périodes de compétition. 0 DFPQ (style de CR de G.9951/2). 1 DFPQ limité (DFPQ avec CR limité au sein de la CTXOP ou UTXOP). 2,3 Réservé pour utilisation future. Pour plus de détails sur la résolution de collision en mode SMAC, voir le § 7.3.7.
• • SMAC_EXIT *(Sortie de SMAC)*	1	Sortie du mode MAC synchrone. Ce fanion est utilisé par le maître pour indiquer son intention de mettre fin à son rôle de maître et d'arrêter d'envoyer des trames MAP. Les nœuds de point d'extrémité interprètent ce fanion comme une indication de sortir du mode SMAC et entrer en mode AMAC. Un appareil de point d'extrémité doit ignorer le contenu du tableau des TXOP dans un MAP dont le fanion SMAC_EXIT est mis. L'appareil de point d'extrémité doit entrer en mode AMAC à la fin du cycle MAC en cours. 0 Rester en mode SMAC. 1 Sortir du mode SMAC.

Tableau 7-3/G.9954 – Informations du MAP

Nom du champ	Taille du champ [bits]	Description
• • AMAC_DETECTED *(AMAC détecté)*	1	Le maître a détecté l'existence d'un appareil fonctionnant en mode AMAC. La méthode utilisée par le maître pour détecter les nœuds AMAC dépend de l'implémentation. 0 Appareil fonctionnant en mode AMAC NON détecté. 1 Appareil fonctionnant en mode AMAC détecté.
• • CP Priority Limit	3	Plus haute priorité à utiliser par les nœuds G.9954 pour les transmissions en période de compétition (CTXOP). Peut être contrôlée afin de donner la priorité aux émissions CF dans un environnement (par exemple, réseau mixte G.9951/2 et G.9954) où des émissions CF et CP peuvent entrer en collision. Les valeurs définies sont: 0 à 7 Niveaux de priorité.
• • MAP_IFG	6	Taille de l'Intervalle intertrames (IFG) planifié entre les TXOP par le maître. Le silence MAP_IFG doit être garanti par chaque point d'extrémité à la fin de sa TXOP. MAP_IFG est mesuré en µs et est défini dans la gamme CS_IFG (29) à 63 µs.
• • Réservé	16	Réservé pour utilisation future. Doit être envoyé à 0 et ignoré par le récepteur.
• Réservé	32	Réservé pour utilisation future. Doit être envoyé à 0 et ignoré par le récepteur.
• SequenceNumber	16	Numéro de séquence de MAP. Le compteur modulaire qui est incrémenté à chaque cycle MAC.
• NumTXOPs	16	Nombre d'entrées dans le MAP d'allocation. Normalement, le nombre minimal d'entrées dans un MAP est 2 (une entrée pour le MAP suivant et la seconde entrée pour la TXOP non allouée). Lorsque le fanion SMAC_EXIT est mis, le nombre d'entrées dans le MAP peut être zéro. Le nombre maximal d'entrées est limité par la taille maximale de la trame de commande MAP comme décrit ci-dessus.
TXOP_TABLE	N × 32	Tableau de longueur variable des descripteurs de TXOP – où N est défini par NumTXOPs.
• TXOP[1]	32	Le codage du descripteur de TXOP est donné ci-dessous:
• • Réservé	1	Réservé pour utilisation future. Ce champ doit être mis à zéro par l'émetteur et ignoré par le récepteur.
• • TXOP_Length	15	La longueur de la TXOP en unités de TIME_SLOT. TIME_SLOT est défini au § 7.3.3.5.
• • TXOP_ID	16	Identifiant servant à associer le TXOP à un flux de service. Le TXOP_ID est un identifiant unique par système, composé des champs décrits ci-dessous:
• • • SrcDeviceID	6	*Device_ID* de l'appareil à la source du flux.

Tableau 7-3/G.9954 – Informations du MAP

Nom du champ	Taille du champ [bits]	Description
UniqueFlowID	10	Identifiant unique du flux dans le contexte de l'appareil à la source du flux (c'est-à-dire, *SrcDeviceID).*
• …		
• TXOP[N]	32	La n^{ième} TXOP décrite dans le tableau TXOP où N = NumTXOPs.

Le *ControlField (champ de contrôle)* du MAP est une collection de fanions servant à signaler les informations de commande aux nœuds de point d'extrémité du réseau et à contrôler le comportement des nœuds de point d'extrémité. Le *ControlField* fournit un mécanisme de base au maître pour la distribution des décisions de politique aux nœuds de points d'extrémité lors de la détection de certains événements. Les algorithmes utilisés par le maître pour la prise de décision de politique sont en dehors du domaine d'application de la présente Recommandation.

Le *SequenceNumber (numéro de séquence)* peut être utilisé pour détecter la perte d'un MAP et vérifier que le MAP d'allocation de support "en cours" connu d'un nœud est "valide" et "à jour". Le *SequenceNumber* est incrémenté modulo 16 bits à chaque MAP.

L'ensemble des TXOP planifiées dans le prochain cycle MAC est décrit dans TXOP_TABLE. Chaque entrée du tableau contient un descripteur de TXOP qui spécifie l'allocation de la TXOP à un appareil ou (flux de) service ou à un ensemble d'appareils ou services. L'allocation d'une TXOP est décrite à l'aide du couple (*SrcDeviceID, UniqueFlowID*). Pour plus d'informations sur l'adressage de TXOP, voir au § 7.3.3.4.

La première entrée dans le tableau des TXOP doit être allouée au maître (si le fanion SMAC_EXIT N'EST PAS mis) et doit être utilisée pour la transmission de la (prochaine) trame de commande MAP elle-même.

Dans la mesure où le MAP décrit les TXOP dans le prochain cycle MAC, les modifications de longueur de la TXOP du MAP (c'est-à-dire, TXOP[1]) exigent en fait deux cycles MAC pour prendre effet. Ceci signifie qu'une décision d'augmenter la taille de la TXOP du MAP survenant dans le cycle N doit être décrite dans le MAP du cycle N + 1 mais ne prendra effet que dans le cycle MAC N + 2.

Pour plus de détails sur la structure d'une trame de commande MAP, voir au § 10.14.1.

7.3.3.4 Opportunités de transmission (TXOP)

La structure interne d'un cycle MAC est illustrée à la Figure 7-12. Elle montre un exemple de cycle MAC composé d'opportunités de transmission (TXOP) de différents types. On définit les types de TXOP suivants.

- TXOP sans concurrence (CFTXOP, *CONTENTION-FREE TXOP*) – TXOP allouée à un appareil de réseau dédié (unique) ou flux de service.
- TXOP en concurrence (CTXOP, *CONTENTION TXOP*) – TXOP pour lequel l'accès fondé sur la concurrence est défini parmi un groupe d'appareils de réseau ou de flux de service.
- TXOP non allouée (UTXOP, *UNALLOCATED TXOP*) – Une TXOP non allouée est un type de TXOP fondé sur la concurrence dans lequel tout appareil du réseau peut émettre sur la base de la concurrence.

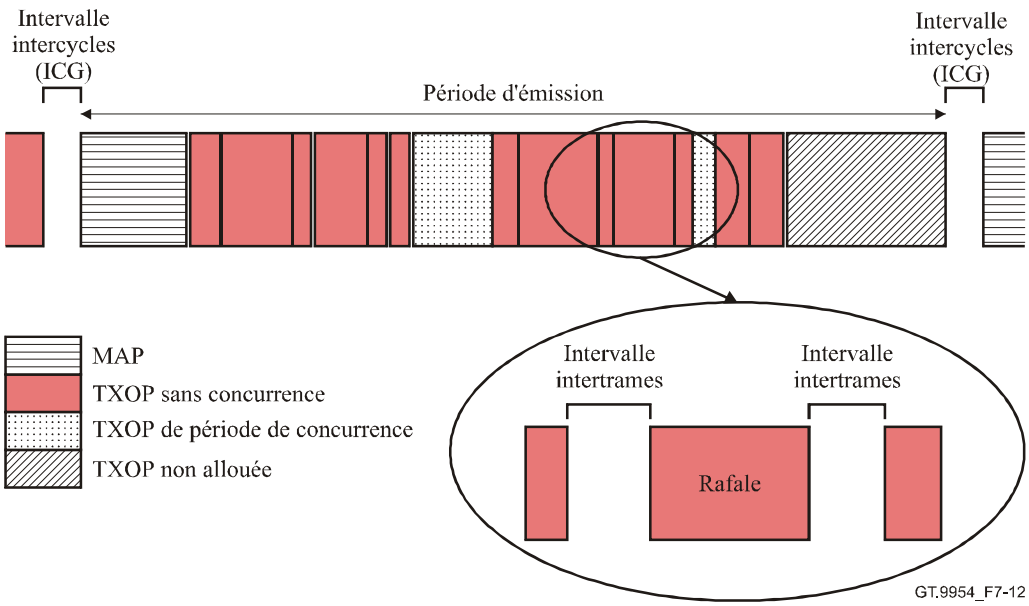

Figure 7-12/G.9954 – Structure de cycle MAC

Le *MAP* doit être envoyé au début de chaque cycle MAC dans la première TXOP du cycle (comme décrit dans le MAP précédent). La TXOP utilisée pour la transmission du MAP est, par définition, une TXOP sans concurrence (CFTXOP) et allouée exclusivement au maître. Elle est identifiée par l'adresse TXOP de MAP définie au § 7.3.3.4.2.

Le maître doit planifier l'accès au support durant un cycle MAC en divisant en TXOP le temps d'accès au support disponible au sein du temps du cycle MAC. Le maître doit allouer des TXOP sans concurrence (CFTXOP) et des TXOP en concurrence (CTXOP) pour les services admis qui demandent des contrats de qualité de service. Le temps d'accès restant après que toutes les TXOP ont été allouées à des appareils, services ou groupes spécifiques doit être alloué par le maître comme *UTXOP*. Ces TXOP peuvent être utilisées par tout appareil, sur la base de la concurrence, pour la transmission de trafic non planifié, de services au mieux, des protocoles ou du trafic de gestion ou de contrôle du réseau pour lequel ne sont pas demandées de garanties de qualité de service explicites.

NOTE 1 – La bande passante allouée à un appareil du réseau pour une transmission peut être étalée sur plusieurs TXOP au sein du cycle MAC. Bien que les algorithmes de gestion et de programmation du maître doivent essayer de rassembler la bande passante allouée (afin de réduire le nombre de rafales possibles) il peut être nécessaire d'étaler l'allocation tout au long du cycle afin de satisfaire aux contraintes de qualité de service. Ce peut être le cas en particulier des flux de CBR. De même, les TXOP non allouées peuvent être éparpillées tout au long du cycle MAC. Le placement et la longueur des TXOP au sein d'un cycle MAC dépendent des décisions du maître et comme telles sont en dehors du domaine d'application de la présente Recommandation.

L'accès au support au sein des CTXOP et UTXOP doit être effectué en utilisant des méthodes d'accès au support fondées sur la concurrence sur la base du mode de fonctionnement AMAC. Les collisions au sein de CTXOP et UTXOP, si elles surviennent, sont résolues en utilisant la méthode de résolution de collision de SMAC (voir le § 7.3.7).

NOTE 2 – Des collisions peuvent survenir au sein d'une CFTXOP dans un réseau mixte de nœuds G.9954 et G.9951/2.

Pour plus d'informations sur les schémas de résolution des collisions, voir au § 7.3.7.

7.3.3.4.1 Identifiants de TXOP (TXOP_ID)

Toutes les TXOP définies dans le MAP doivent être allouées par le maître à un seul appareil ou flux, sur la base de l'exclusivité, ou à un groupe d'appareils ou flux, sur la base de la concurrence.

L'allocation de TXOP à des appareils ou flux est décrite par l'identifiant TXOP ou TXOP_ID. Le TXOP_ID formé par le couple (*SrcDeviceID, UniqueFlowID*) où *SrcDeviceID* identifie l'appareil à la source du flux et *UniqueFlowID* est un identifiant unique du flux dans le contexte de *SrcDeviceID*. Une TXOP doit être allouée à un flux par le maître, durant l'établissement du flux, et il doit en être fait rapport à l'appareil qui est à la source du flux en utilisant les messages du protocole de signalisation de flux.

Le TXOP_ID est un nombre de 16 bits qui est unique au sein du réseau et peut avoir des valeurs dans la gamme de 0 à 65 536.

Un appareil ne doit émettre dans une TXOP que s'il est à la source d'un flux auquel la TXOP a été allouée. Un appareil peut aussi émettre au sein de certaines TXOP prédéfinies s'il contient des données conformes à la sémantique des TXOP prédéfinies.

7.3.3.4.2 TXOP prédéfinies

Les TXOP prédéfinies sont des opportunités de transmission d'une espèce spéciale qui sont utilisées pour la transmission de messages de type ou service bien défini. Les TXOP prédéfinies sont identifiées par un ensemble fixé de TXOP_ID. Toutes les TXOP prédéfinies commencent par un composant SrcDeviceID égal à zéro. Cette définition permet jusqu'à 1024 TXOP prédéfinies adressables.

Les valeurs et la sémantique des TXOP prédéfinies sont implicitement connues de tous les nœuds G.9954. Le Tableau 7-4 fait la liste des ensembles de TXOP prédéfinies:

Tableau 7-4/G.9954 – TXOP prédéfinies

Nom de TXOP	TXOP_ID	Sémantique
Non allouée (UTXOP)	0	Identifie les opportunités de transmission non allouées. Cette TXOP est disponible à tout appareil ou flux sur la base de la concurrence. Toute sorte de flux de trafic peut être envoyé durant une UTXOP.
Enregistrement (LCP)	1	Identifie une TXOP en concurrence réservée uniquement aux messages de protocole de contrôle d'admission de réseau LLC (enregistrement) (voir au § 10.15).
Gestion (LCP)	2	Identifie une TXOP en concurrence réservée uniquement aux messages de protocole de contrôle de liaison LLC.
G.989.1/2	3	Identifie les TXOP en concurrence réservées exclusivement aux transmissions par les appareils G.9951/2 d'origine.
Au mieux	4	TXOP en concurrence qui peut être utilisée pour transmettre des données associées à un service au mieux où un service au mieux est défini par un flux de trafic avec une priorité de couche Liaison de 0. Pour plus d'informations sur les services au mieux voir les § 9.2.5 et 10.6.7.1 sur re-mappage de priorité de couche Liaison.
Réservé	5 ... 1023	Réservé pour utilisation future.

Dans une TXOP prédéfinie, un appareil G.9954 ne doit transmettre que des trames conformes à la sémantique définie pour cette TXOP et NE DOIT PAS utiliser la TXOP pour la transmission de toute autre sorte de trafic que celui prescrit pour la TXOP.

7.3.3.4.3 Transmission au sein des UTXOP

Le temps d'accès au support non alloué au sein d'un cycle MAC doit être défini dans le MAP et alloué, par le maître, comme une UTXOP en utilisant le couple de UTXOP (voir le § 7.3.3.4.2). Tout appareil peut émettre au cours d'une UTXOP. Les appareils concourent pour l'accès au support en utilisant les règles AMAC d'accès au support dans les limites de temps (temps de début et de fin) de la période UTXOP.

Un appareil G.9954 effectuant l'accès au support au sein d'une UTXOP doit cesser toute transmission au moins MAP_IFG µs avant la fin de l'UTXOP à moins qu'elle ne soit suivie d'une UTXOP adjacente. La cessation de toute transmission inclut la signalisation de résolution de collision si un appareil est actuellement impliqué dans un cycle de résolution de collision. Pour plus d'informations sur la résolution de collision pendant le mode SMAC, voir au § 7.3.7.

7.3.3.5 Rythme du protocole MAC synchrone

Les paramètres de rythme du protocole sont les mêmes dans le mode SMAC que dans le mode AMAC. Cela comprend tous les paramètres suivants:

1) intervalle intertrames (CS_IFG);
2) longueur d'en-tête et de postambule de couche PHY;
3) trame PHY minimale (minTrameSize);
4) trame PHY maximale (maxTrameSize);
5) créneau de priorité (PRI_SLOT);
6) créneau de signal (SIG_SLOT);
7) fragment de collision (CD_FRAG);
8) seuil de détection de collision (CD_THRESHOLD).

Pour une description complète des paramètres de rythme en mode AMAC, voir les § 7.2.1.1, 7.2.7 et 7.2.7.1. Le maître doit planifier l'heure de début de TXOP[N] égale à l'heure de début de TXOP[N – 1] plus la longueur de TXOP[N – 1].

La longueur de chaque TXOP doit inclure le temps de support pour transmettre les symboles de trame réels aussi bien que tous *intervalles intertrames* nécessaires pour séparer des rafales de trames consécutives. La longueur de l'intervalle intertrames utilisé par le maître pour le calcul des TXOP dans le MAP doit être signalée aux nœuds de point d'extrémité dans la trame MAP (*MAP_IFG).*

NOTE 1 – Normalement une TXOP se termine par un MAP_IFG. Cependant, les longues TXOP peuvent contenir des MAP_IFG intermédiaires pour séparer des rafales au sein d'une TXOP.

Un appareil G.9954 ne doit pas émettre au sein d'une TXOP plus tard que $TXOP_{LatesTime} = TXOP_{StartTime} + TXOP_{Length} - MAP_IFG$ (en supposant que la prochaine TXOP est allouée à un appareil différent).

Deux TXOP consécutives ayant la même allocation de tuplet de TXOP peuvent logiquement être considérées comme une seule TXOP de longueur étendue, où la longueur étendue est égale à la somme des longueurs des deux TXOP individuelles. Cela prend en charge les TXOP d'une longueur supérieure à la limite imposée par le champ Longueur de TXOP dans le MAP. Dans ce cas, un MAP_IFG n'est pas nécessaire entre les deux TXOP consécutives et une transmission peut passer sur la frontière entre elles.

Le temps de transmission est divisé en créneaux de temps d'une durée TIME_SLOT. TIME_SLOT doit durer 500 ns. Toutes les TXOP doivent commencer sur une limite de TIME_SLOT. Le maître doit arrondir la longueur des TXOP à des nombres entiers de TIME_SLOT lorsqu'il calcule le MAP pour un cycle MAC.

Toutes les transmissions au sein d'une TXOP doivent commencer sur une limite de créneau de priorité ou de signal si le cycle MAC est toujours synchronisé avec la fin de la transmission précédente. Si le MAC n'est pas synchronisé, la transmission peut débuter à tout moment. Dans les deux cas, la transmission doit se terminer avant la fin de la TXOP. Pour une description du rythme de MAC synchronisé et non synchronisé, voir au § 7.2.1.2.

Exemple:

dans le cas où un appareil n'utilise pas tout le temps de la TXOP qui lui est allouée et où l'heure de début de la prochaine TXOP est toujours synchronisée avec la fin de la dernière transmission, un appareil G.9954 peut alors retarder sa transmission pour débuter sur une limite de créneau de priorité.

Ceci peut causer un retard (gigue) jusqu'à un maximum de PRI_SLOT à TX_ON µs (c'est-à-dire, 21 – 4 = 17 µs) comme illustré à la Figure 7-13.

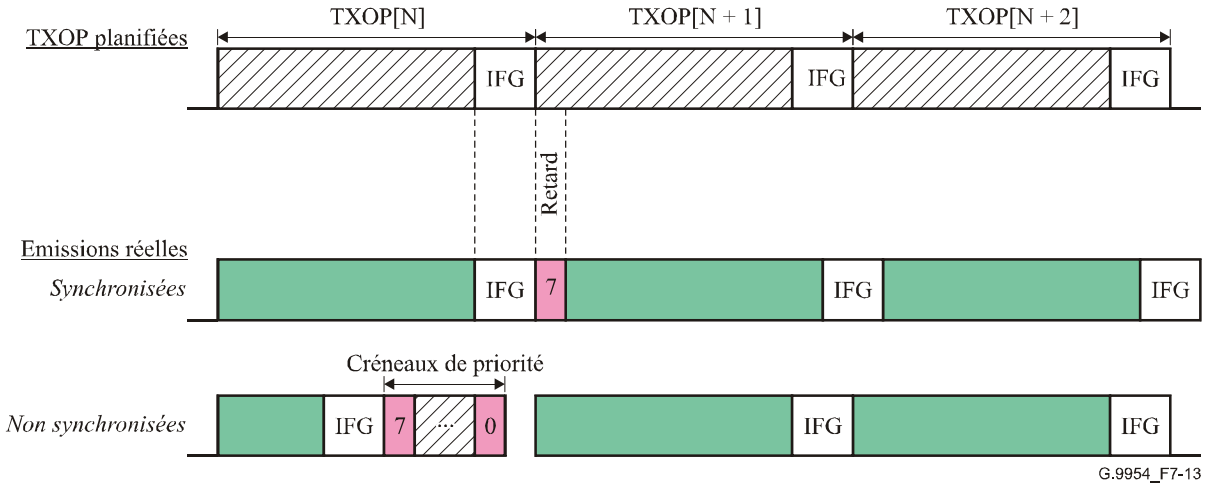

Figure 7-13/G.9954 – Distribution des opportunités de transmission

Le diagramme ci-dessus montre que du fait qu'un appareil n'utilise pas toute sa TXOP (TXOP[N]), lorsque arrive l'heure de la prochaine TXOP, il n'est plus positionné au début du créneau de priorité 7, mais plutôt quelque part après le début du créneau de priorité 7. Comme les transmissions doivent commencer sur les limites de créneau de priorité (si le cycle MAC est synchronisé avec la fin de la dernière transmission), l'appareil auquel est allouée la TXOP doit retarder sa transmission jusqu'au début de la prochaine limite de créneau de priorité. Ce retard ne s'accumule pas et donc le retard potentiel maximal introduit par cet événement est limité à 17 µs.

NOTE 2 – On pourrait répliquer que la transmission qui suit une TXOP incomplète devrait être avancée dans le temps pour correspondre à la limite du créneau de priorité 7. Cela propagerait la même condition à toutes les TXOP suivantes, alors que retarder la transmission au départ du créneau de priorité 6 a un effet plus localisé.

7.3.3.6 Synchronisation du rythme du cycle MAC

Les nœuds de réseau doivent se synchroniser avec la référence d'horloge du maître au moyen de la trame de commande MAP. Toutes les références de temps spécifiées par le maître doivent être faites par rapport au premier symbole du préambule de la trame MAP. Ce point de référence représente le décalage zéro au sein du cycle MAC.

Le décalage actuel au sein du cycle MAC est reflété par un *compteur d'horloge synchrone.* Le compteur d'horloge synchrone est remis à zéro par l'arrivée du MAP et compte la progression des

TIME_SLOT par rapport au début du cycle MAC. La synchronisation du rythme de transmission au début d'une TXOP doit être effectuée en utilisant le compteur d'horloge synchrone.

7.3.3.7 Compensation du délai de propagation

Différents appareils du réseau peuvent recevoir le MAP à des instants différents du fait du délai de propagation. Pour tenir compte des différences de délai de propagation entre stations, le maître doit planifier un intervalle intertrames (MAP_IFG) dans chaque TXOP qui va garantir, dans le pire des cas, un intervalle de CS_IFG µs entre la fin d'une transmission planifiée et le début de la prochaine transmission planifiée tenant compte de la plus forte déviation par rapport à l'horaire de TXOP programmé causée par le *délai de propagation*.

NOTE 1 – L'intervalle IFG réel perçu à chaque station peut varier selon le moment où il a reçu le MAP par rapport à l'horloge du maître et celui où la transmission a été programmée par le maître. En planifiant MAP_IFG et en ayant à chaque station une garantie d'au moins CS_IFG, les effets du délai de propagation sont encadrés et la longueur du cycle ne dérivera pas.

Les relations entre l'intervalle IFG minimal garanti (CS_IFG), l'intervalle IFG réel "perçu" par un appareil et l'intervalle IFG planifié (MAP_IFG) utilisées dans le MAP sont définies comme suit:

$$CS_IFG \le IFG \le MAP_IFG + 2 \times PD$$

où les paramètres qui figurent dans l'inégalité sont décrits au Tableau 7-5.

Tableau 7-5/G.9954 – Paramètres d'intervalle IFG

Paramètre	Description
IFG	Intervalle intertrames (IFG) réel "perçu" par un appareil G.9954.
CS_IFG	Intervalle intertrames (IFG) requis par la couche PHY pour détecter la fin d'une rafale et le début de la rafale suivante.
MAP_IFG	Intervalle intertrames utilisé par le maître dans les calculs de longueur de TXOP dans le MAP et défini par: $MAP_IFG = CS_IFG + 2 \times PD$
PD	Délai de propagation maximal approximé par la transmission à la vitesse de la lumière (c'est-à-dire, 300 m égale un retard de 1 µs).

Le maître doit prévoir un intervalle de MAP_IFG entre les rafales lorsqu'il calcule la distribution et la longueur des TXOP et doit publier dans le MAP la valeur de MAP_IFG utilisée dans ses calculs. Un appareil de point d'extrémité (tout appareil de point d'extrémité à l'exclusion du maître lui-même) doit garantir qu'il finira son émission au moins MAP_IFG µs avant la fin de la TXOP.

La Figure 7-14 illustre la variation de l'intervalle IFG perçu du point de vue de différents appareils du réseau en présence des effets du délai de propagation.

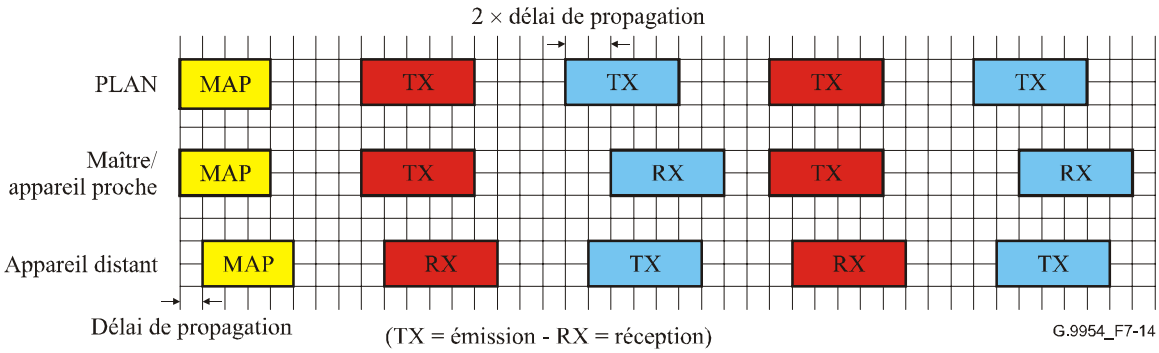

Figure 7-14/G.9954 – Délai de propagation

NOTE 2 – Ce mécanisme est suffisant pour éliminer le besoin d'avoir des appareils non-maîtres réellement synchronisés avec la référence d'horloge du maître. Cependant, pour certaines applications (par exemple, vocales) il peut être important de se synchroniser avec la référence d'horloge du maître afin de synchroniser le taux d'échantillonnage aux couches supérieures. Dans ce but, le maître distribue son horloge à l'aide d'un message Rapport d'horodatage de couche Liaison, voir le § 10.18.

7.3.4 Capacités fonctionnelles de nœud maître G.9954

Un nœud G.9954 ayant la capacité d'être maître est un nœud G.9954 qui, en plus de la prise en charge des capacités requises d'un nœud de point d'extrémité G.9954 est aussi capable d'assumer le rôle de maître en l'absence d'un maître actif sur le réseau.

En plus des exigences de nœud G.9954 dont la liste figure ci-dessous, un nœud qui désire être un maître G.9954 doit prendre en charge toutes les fonctions MAC et de couche Liaison qui s'y rapportent:

1) **admission au réseau** – Gérer l'admission des nœuds G.9954 qui demandent des garanties de qualité de service au réseau (voir le § 7.3.4.1);
2) **choix dynamique de maître** – Détecter la présence ou l'absence d'un maître opérationnel sur le réseau et postuler (et assumer) le rôle de maître du réseau, si nécessaire, voir le § 10.16;
3) **gestion de flux et de bande passante** – Gérer l'établissement, la modification et la suppression des flux de service et l'allocation des ressources de bande passante du support associées conformément aux contraintes de qualité de service (voir le § 7.3.4.2);
4) **programmation** – Planifier le cycle du support et programme les transmissions de façon à satisfaire aux contraintes de qualité de service, de bande passante, de délai de latence et de gigue;
5) **génération et distribution du MAP** – Générer un plan d'accès au support (MAP) qui représente le résultat des fonctions de gestion de la bande passante et de programmation et distribue le MAP à chaque cycle MAC (voir le § 10.3.4.4);
6) **fonctionnement du mode de compatibilité** – Détecter la présence d'appareils G.9951/2 fonctionnant sur le réseau et adapter en conséquence le fonctionnement du réseau (voir le § 8.4).

Le maître G.9954 doit effectuer l'accès au support en utilisant les mêmes règles d'accès au support que pour les appareils de point d'extrémité (non-maître) et en utilisant le même Plan d'accès au support que celui distribué aux appareils de point d'extrémité.

Un appareil ayant la capacité de maître G.9954 doit être capable de coexister sur le même réseau de rattachement que les autres appareils ayant la capacité de maître (actifs). Un seul appareil maître doit exister sur le réseau à un instant donné. Le choix de l'appareil G.9954 maître doit être effectué automatiquement en utilisant le protocole de choix de maître de couche Liaison de G.9954, voir le § 10.16.

NOTE 1 – Il N'EST PAS exigé que chaque appareil G.9954 soit capable de devenir un maître.

NOTE 2 – Une grande partie du comportement qui distingue les différentes implémentations de maître G.9954 est définie par les politiques de gestion et programmation de bande passante qu'elles implémentent. Ces aspects du maître étant en dehors du domaine d'application de la présente Recommandation, les éléments s'y rapportant qui figurent dans la présente Recommandation ne sont donnés qu'à titre d'information.

7.3.4.1 Admission au réseau

Un appareil G.9954 qui requiert l'allocation d'une largeur de bande fixée du support doit d'abord "s'enregistrer" auprès du maître G.9954 en utilisant le protocole d'admission au réseau, voir le § 10.15.

Un maître G.9954 doit répondre à une demande REGISTRATION en vérifiant l'autorisation des appareils demandeurs à se joindre au réseau. Le maître doit utiliser l'adresse MAC, envoyée par l'appareil demandeur (dans la demande REGISTRATION) comme identifiant de l'appareil ou clé de l'authentification d'appareil. Si l'appareil demandeur a la capacité à être admis sur le réseau, le maître doit allouer un DEVICE_ID et retourner le DEVICE_ID alloué et tous les paramètres de configuration réseau à l'appareil demandeur dans la réponse REGISTRATION. Si l'appareil demandeur n'a pas la capacité à être admis sur le réseau, le maître doit retourner un état en indiquant la raison dans la réponse REGISTRATION.

7.3.4.2 Gestion de flux et de bande passante

Le maître G.9954 doit assurer la maintenance des informations d'état qui concernent l'allocation des ressources du support dans le réseau et doit contrôler l'admission de nouveaux services et l'allocation des ressources du support.

Le contrôle d'admission doit être effectué de telle façon que ne soient pas violées les caractéristiques de débit de données minimal ainsi que de délai de latence, de gigue et de BER maximal pour les services existants.

Le maître doit servir les demandes d'ajout/suppression de flux de service réseau et les demandes de changement de caractéristiques de flux de service en utilisant le protocole de signalisation de flux de couche Liaison de G.9954.

Si une demande d'ajout d'un nouveau service est faite et que le niveau de service demandé ne peut être satisfait, le maître peut offrir un niveau de service dégradé. Le niveau de service dégradé offert par le maître ne doit pas être en dessous des exigences minimales de service spécifiées dans la spécification de flux de service.

Si des ressources suffisantes ne sont pas disponibles pour satisfaire un nouveau service, le maître peut essayer de réduire le niveau de service des services existants à leurs seuils d'exigence minimaux. Si les ressources suffisantes sont toujours indisponibles, un état de refus de service doit être retourné au demandeur.

Refus de service signifie qu'aucun contrat de qualité de service ne peut être accordé à un service particulier. Dans ce cas, l'accès au support peut toujours être effectué sur la base de la priorité au sein de TXOP en concurrence (CTXOP).

De même, si par exemple, des changements des conditions en ligne sur un canal logique ont pour résultat une réduction de la capacité réseau disponible et la violation des contraintes de qualité de service pour les services admis, le maître peut dégrader les niveaux de service au-delà de leurs limites permises afin d'essayer de traiter tous les services admis. Si les contraintes de qualité de service, pour un flux de service admis, ne peuvent plus être satisfaites, le maître doit notifier à l'appareil source la violation de service en utilisant le protocole de signalisation de flux.

Les changements de conditions en ligne sont en fait détectés au moyen de la négociation de débit entre appareils aux points d'extrémité d'un canal. Si les conditions en ligne changent et que l'émetteur est forcé d'utiliser un codage de charge utile (PE) différent, le maître en aura notification par l'appareil émetteur à l'aide du protocole de signalisation de modification de flux. Le maître devrait alors recalculer les réservations de bande passante du support à prendre en compte suite au changement de codage PE.

Pour plus d'informations sur la qualité de service et des détails sur les protocoles utilisés pour ajouter de nouveaux services et modifier/retirer des services existants dans le réseau, voir les § 9.4 et 10.1.2.

7.3.4.3 Programmation

Le maître G.9954 doit être capable d'allouer aux services des opportunités de transmission sur le support d'une façon telle qu'un appareil G.9954 émettant dans l'opportunité de transmission allouée

satisfasse aux contraintes de bande passante, de délai de latence et de gigue de qualité de service pour les flux de service admis.

Le programmeur doit être responsable de l'équilibrage des demandes de bande passante support définies par les spécifications de trafic des divers services admis dans la quantité totale de bande passante disponible. Le résultat du processus de programmation doit être un Plan d'accès au support (MAP) qui définit les opportunités de transmission allouées pour les divers flux de service.

Pour chaque flux de service admis, le programmeur maître doit calculer les TXOP nécessaires pour le service, l'heure de début de la TXOP et la longueur de la TXOP. Le résultat du processus du programmeur maître doit être utilisé pour générer le plan d'accès au support (MAP).

Le maître G.9954 doit garantir l'allocation d'une quantité minimale de temps de support non alloué (UTXOP) pour la transmission du trafic au mieux et les trames de gestion réseau et de contrôle. La quantité minimale de temps de transmission réservé qui peut être utilisé pour ces besoins doit être de MIN_UTXOP_TIME. Ce temps peut être étalé sur plusieurs UTXOP mais aucune UTXOP ne doit être inférieure à MIN_UTXOP_LENGTH.

L'algorithme de programmation est en dehors du domaine d'application de la présente Recommandation car plusieurs solutions de fabrication sont possibles.

NOTE – L'algorithme de programmation devrait viser à fournir des garanties déterminées pour les services CBR (isochrones), des garanties statistiques aux services à débit binaire variable (VBR) et pas de garanties sur le matériel pour les services au mieux.

L'interopérabilité entre maître et points d'extrémité de fabricants différents est garantie au moyen du mécanisme du MAP bien que les résultats de qualité de service puissent varier selon la solution.

A titre de point de repère pour les performances du programmeur, un programmeur G.9954 certifié devrait être capable de réussir à générer un MAP (solution) pour un ensemble de scénarios, à partir des exigences de qualité de service, comme défini dans les paramètres de qualité de service pour un débit maximal de couche PHY donné: génération et distribution de MAP.

7.3.4.4 Génération et distribution du MAP

Le maître G.9954 doit générer et distribuer un Plan d'accès au support (MAP) à chaque cycle MAC.

Un nouveau MAP est généré à chaque cycle bien que le tableau des TXOP dans le MAP ne doive changer qu'après un changement des décisions de programmation résultant de l'addition, retrait ou modification des flux d'un service ou si les conditions du réseau changent.

Le maître G.9954 doit distribuer le MAP en diffusant la trame de commande MAP à tous les nœuds dans le réseau. La trame de commande MAP doit être diffusée en utilisant le codage de charge utile le plus robuste (PE = 33, gabarit spectral n° 2, 2 Mbaud, 2 bits par symbole).

Pour d'autres détails sur le MAP, la structure et la distribution du cycle MAC, voir les § 7.3.1 et 7.3.3.2. Pour d'autres informations sur la trame de commande MAP, voir le § 10.14.1.

7.3.5 Exigences pour le nœud de point d'extrémité G.9954

Un nœud de point d'extrémité G.9954 doit être capable de fonctionner en mode SMAC en présence d'un maître G.9954.

A titre d'exigences minimales, un nœud de point d'extrémité G.9954 doit prendre en charge les fonctions MAC suivantes:

1) synchronisation de cycle MAC – Un point d'extrémité G.9954 doit se synchroniser avec le cycle MAC généré par le maître dans un réseau contrôlé par un maître;

2) transmissions synchronisées – Un nœud de point d'extrémité G.9954 doit se conformer aux directives de transmission du MAP en cours et garantir qu'il ne transmettra qu'au sein d'une TXOP qui lui est exclusivement allouée (CFTXOP) ou au groupe auquel il appartient (CTXOP) ou au sein d'une TXOP non allouée (UTXOP);

3) résolution de collision – Lors d'événements de collisions d'accès au support, un nœud G.9954 doit être capable de participer à la résolution de collision conformément aux règles définies aux § 7.2.5 et 7.3.7;

4) mode de fonctionnement AMAC – Un nœud de point d'extrémité G.9954 doit être capable de fonctionner conformément au protocole AMAC, décrit au § 7.2 ci-dessus, en l'absence d'un maître G.9954 sur le réseau.

Un appareil tel que décrit ci-dessus est incapable de réserver la bande passante pour ses propres émissions mais respecte les allocations de bande passante des autres appareils. Il est capable de se synchroniser avec le MAP et de limiter strictement ses propres transmissions à l'intérieur des UTXOP allouées.

NOTE – Les exigences minimales ci-dessus représentent la fonctionnalité centrale sur laquelle le protocole de niveau supérieur (par exemple, enregistrement, établissement de flux, etc.) peut s'ancrer.

Afin de prendre en charge les contrats de qualité de service de réservation de bande passante pour les flux, un appareil de point d'extrémité G.9954 doit prendre en charge les fonctions de couche MAC et Liaison G.9954 suivantes.

1) Enregistrement – Une fois qu'un nœud de point d'extrémité s'est synchronisé avec le maître, le point d'extrémité doit effectuer REGISTRATION *(enregistrement)*. REGISTRATION est le processus par lequel un point d'extrémité demande l'entrée au réseau et, si il y est autorisé, reçoit une adresse réseau et les données de configuration réseau.

2) Signalisation de flux – Pour gérer les flux de qualité de service, un point d'extrémité doit prendre en charge le protocole de signalisation de flux. Celui-ci est utilisé pour établir, modifier ou supprimer les flux.

7.3.5.1 Synchronisation

Un nœud de point d'extrémité G.9954 doit se synchroniser avec le cycle MAC généré par le maître en détectant l'existence d'une transmission d'un Plan d'accès au support (MAP). Dès la détection d'une trame de commande MAP, un nœud de point d'extrémité G.9954 doit remettre à zéro son compteur d'horloge synchrone à l'instant correspondant au moment d'arrivée du premier symbole du préambule de la transmission du MAP à l'interface W1 du récepteur. Un appareil de point d'extrémité G.9954 doit programmer ses transmissions synchrones à l'intérieur du cycle MAC conformément au compteur d'horloge synchrone.

Si un nœud G.9954 échoue à recevoir une transmission de MAP pendant SYNC_TIMEOUT ms, ou s'il reçoit un MAP avec l'indicateur SMAC_EXIT établi, le nœud de point d'extrémité G.9954 doit passer au mode de fonctionnement AMAC.

En fonctionnement en mode AMAC, lorsqu'il détecte une transmission de MAP suivante, un nœud de point d'extrémité G.9954 doit passer au mode de fonctionnement SMAC. Le changement de mode doit survenir durant l'unité de temps MAC_MODE_SWITCH_TIMELIMIT.

7.3.5.2 Transmissions synchronisés

Lorsqu'il fonctionne en mode SMAC, un appareil de point d'extrémité G.9954 doit effectuer l'accès au support conformément au plan d'accès au support en cours d'activité publié par le maître. Il ne doit émettre qu'à l'intérieur d'une TXOP allouée exclusivement à lui ou au groupe auquel il appartient, comme défini au § 7.3.3.4.1.

Un nœud de point d'extrémité G.9954 doit programmer précisément ses transmissions synchrones en utilisant le compteur d'horloge synchrone et se conformer aux contraintes de distribution synchrone spécifiées aux § 7.3.3.5 et 7.3.3.6.

7.3.5.3 Enregistrement

Un nœud de point d'extrémité G.9954 doit s'enregistrer auprès du maître, en utilisant le protocole REGISTRATION, s'il demande des garanties de qualité de service pour des services pour lesquels il est la source. Il doit effectuer la séquence "enregistrement" une fois par session de maître.

Une session de maître commence avec la transmission de la première trame MAP par le maître et se termine après SYNC_TIMEOUT ms sans une transmission de MAP ou sur l'indication de SMAC_EXIT par le maître dans le MAP.

Un nœud de point d'extrémité G.9954 doit transmettre des messages de protocole REGISTRATION qu'il soit dans une UTXOP ou dans une TXOP REGISTRATION (voir le § 7.3.3.4.2).

NOTE – Les appareils de point d'extrémité peuvent initialement concourir pour l'accès à l'opportunité REGISTRATION. Les collisions peuvent être traitées par les méthodes de résolution de collision de G.9954 et/ou par réessai après un nombre aléatoire d'opportunités d'admission.

Un nœud de point d'extrémité G.9954 doit notifier au maître l'adresse MAC qui lui a été allouée dans le message de protocole REGISTRATION.

L'authentification fait partie du processus REGISTRATION et peut être effectuée en vérifiant que l'appareil, identifié par l'adresse MAC de point d'extrémité, est autorisé à se joindre au réseau. La procédure d'autorisation dépend de l'implémentation.

L'appareil de point d'extrémité G.9954 doit utiliser le DEVICE_ID qui lui a été alloué par le maître G.9954 lors des séquences suivantes de protocole de signalisation de flux.

Pour d'autres détails sur le protocole REGISTRATION, voir le § 10.15.

7.3.5.4 Signalisation de flux

Un nœud de point d'extrémité G.9954 doit prendre en charge le protocole de signalisation de flux s'il prend en charge des flux avec des paramètres de qualité de service variables. La prise en charge de la signalisation de flux est pertinente aussi bien en mode SMAC qu'AMAC et devrait être acceptée par les nœuds de source et de destination d'un flux.

Dans un réseau à commande par maître, le point d'extrémité G.9954 à la source d'un flux à contrat de qualité de service doit informer le maître des demandes d'établissement, modification et suppression de flux. Il doit notifier au maître les changements de débit négociés entre un appareil de source et de destination (c'est-à-dire, les changements de codage PE des flux en cours) sur un canal logique en utilisant le protocole de modification de flux.

Pour plus d'informations sur la signalisation de flux et la négociation de débit, voir respectivement les § 10.17 et 10.4.

7.3.5.5 Traitement et programmation des points d'extrémité

Les nœuds de points d'extrémité G.9954 ne nécessitent que peu d'intelligence locale pour programmer les transmissions dans un réseau G.9954 commandé par un maître. La programmation peut être effectuée uniquement en se fondant sur les directives fournies dans le MAP reçu. L'intelligence de programmation de la qualité de service est concentrée chez le maître et exprimée par le MAP.

Les nœuds de point d'extrémité peuvent exercer une intelligence de programmation locale en réaffectant l'association des services aux opportunités de transmission qui leur sont allouées à leur entière discrétion. En d'autres termes, les services auxquels sont allouées des opportunités de

transmission spécifiques par le maître peuvent être réaffectés par l'appareil de point d'extrémité à d'autres services, s'il le désire.

Si une programmation locale est effectuée, la qualité de service résultante obtenue pour les services originaires du point d'extrémité ne doit pas être pire que celle qui aurait été obtenue en utilisant seulement la programmation du maître.

NOTE – "pire" est mesuré ici en termes de débit, délai de latence, gigue et BER de qualité de service.

7.3.6 Résumé des règles de transmission du protocole MAC synchrone

Ce qui suit est un résumé des règles d'accès au support et de transmission du protocole MAC synchrone de G.9954:

- MAP en cours – Dans réseau contrôlé par un maître, un nœud G.9954 ne doit pas émettre à moins qu'il ne détienne un MAP "en cours". Un MAP est "en cours" depuis le début du cycle MAC auquel il se réfère jusqu'à la fin du même cycle MAC. Voir le § 7.3.3.1;
- TXOP sans concurrence – Un nœud G.9954 NE DOIT PAS émettre durant une opportunité de transmission qui est allouée exclusivement à un autre nœud. Voir le § 7.3.3.4.1;
- TXOP à période de concurrence prédéfinie – Un nœud G.9954 ne doit concourir pour l'accès au support et émettre dans une TXOP à période de concurrence prédéfinie QUE SI et seulement si il a l'intention de transmettre un message du type de service spécifié. Des exemples de TXOP en multidiffusion prédéfinies sont les créneaux d'enregistrement, les créneaux de demande de bande passante, etc. Voir le § 7.3.3.4.2;
- TXOP à période de concurrence – Un nœud G.9954 NE DOIT PAS concourir pour l'accès au support dans une opportunité de transmission allouée à un groupe dont il N'EST PAS membre. Voir le § 7.3.3.4.1;
- Limites de transmission – Un nœud G.9954 NE DOIT PAS émettre au-delà de la fin de l'opportunité de transmission qui lui est allouée lorsqu'il fonctionne dans un réseau G.9954 homogène. Un nœud G.9954 dans un réseau mixte de nœuds G.9951/2 et G.9954 ne peut excéder les limites d'une TXOP allouée si il est impliqué dans un processus de résolution de collision. Dans un réseau de nœuds mixtes G.9951/2/3, le début d'une TXOP peut glisser du fait des méthodes d'interférence et de résolution de collision de G.9951/2. Pour des informations complémentaires sur le fonctionnement dans un réseau mixte, se reporter au § 8;
- Résolution de collision – En cas de collision, G.9954 doit effectuer la résolution de collision conformément aux règles décrites au § 7.3.7.

7.3.7 Résolution de collision durant le mode SMAC

Des collisions peuvent survenir en mode SMAC du fait de la concurrence avec des nœuds G.9951/2 ou G.9954 durant une période de concurrence ou du fait de transmissions non programmées avec des appareils PNT (normalement des appareils G.9951/2) fonctionnant en mode AMAC. Les appareils G.9954 fonctionnant en mode SMAC doivent détecter les collisions et participer (si c'est souhaité) au processus de résolution de collision (CR).

La méthode de résolution de collision utilisée par les nœuds G.9954 en mode SMAC doit être déterminée par le maître et signalée aux points d'extrémité au moyen du champ de commande *Méthode de résolution de collision* dans le MAP. Deux méthodes de résolution de collision sont définies:

1) DFPQ (résolution de collision de style G.9951/2 telle que définie au § 7.2.5);
2) DFPQ limité.

DFPQ doit être utilisé en mode AMAC et en fonctionnement dans un réseau mixte de nœuds SMAC et AMAC (voir le § 8.6.2).

La résolution de collision par DFPQ limité ne doit être utilisée en mode SMAC que dans un réseau G.9954 d'origine et se fonde sur une adaptation de la méthode DFPQ utilisée en mode AMAC. L'adaptation implique de limiter le cycle DFPQ de résolution de collision dans les frontières de la CTXOP dans laquelle se produit la collision. Pour limiter le cycle de résolution de collision au sein d'une CTXOP, les compteurs BL/MBL de DFPQ sont remis à zéro à la fin de la CTXOP. Les collisions ne devraient normalement pas survenir durant des transmissions à l'intérieur d'une CFTXOP, cependant, dans le cas où elles se produisent quand même, la résolution de collision procède comme en DFPQ standard et le cycle de résolution de collision procède à la conclusion (c'est-à-dire que les compteurs BL/MBL atteignent une valeur de zéro).

NOTE 1 – Une certaine considération devrait être accordée à une méthode fondée sur DFPQ qui suspend la valeur des compteurs BL/MBL à la fin d'une CTXOP et restaure les valeurs suspendues au début de la prochaine CTXOP. Cette méthode peut avoir l'avantage de limiter plus étroitement la résolution de collision en ce sens que le cycle de résolution de collision ne se termine pas par la fin de la CTXOP. Une telle méthode fera l'objet de travaux complémentaires.

Ces principes sont illustrés à la Figure 7-15.

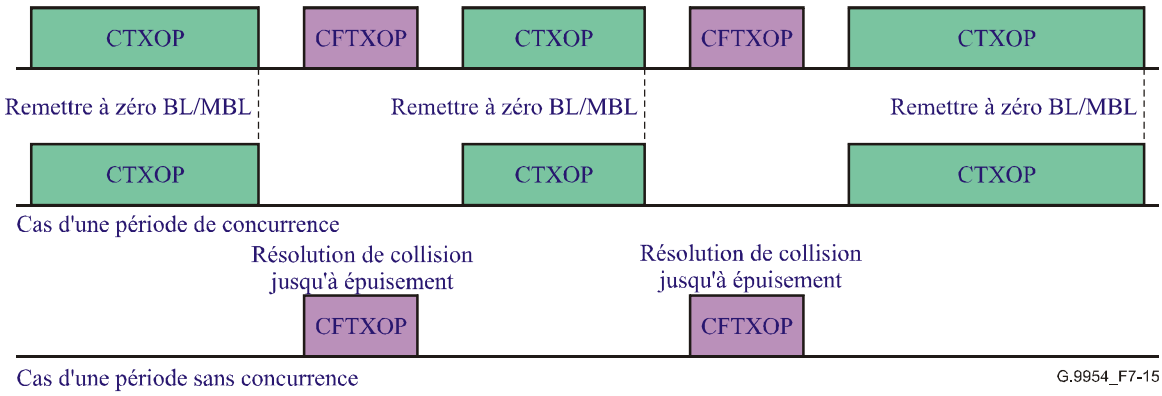

Figure 7-15/G.9954 – Résolution de collision suspendue

Une autre façon de voir les périodes de concurrence et la résolution de collision en mode SMAC est de regarder une CTXOP comme une période "limitée" de transmissions asynchrones de style G.9951/2.

Toutes les stations G.9954 peuvent aussi émettre dans la période de concurrence (CP) à la priorité 7. Chaque station doit s'assurer que son temps de transmission de trame plus le MAP_IFG ne dépasse pas la durée planifiée de CP. Lorsqu'une collision survient, le processus de résolution de collision de G.9951/2 (DFPQ) prend place. La longueur minimale d'une CTXOP (CP_MIN) doit être $CD_THRESHOLD + CS_IFG + 3 \times (SIG_SLOT) = 217\mu s$, s'assurant donc que le temps nécessaire après une collision va toujours tenir dans la CTXOP. Lorsqu'une transmission de station est plus courte que CP_MIN, elle doit débuter sa transmission pas plus tard que CP_MIN à partir de la fin de la CTXOP. Dans un réseau G.9954 d'origine, une station ne doit pas envoyer un signal s'il n'y a pas un temps suffisant dans la CTXOP après les créneaux de signal pour sa trame et MAP_IFG.

NOTE 2 – La méthode de résolution de collision décrite ci-dessus présente l'activité en ligne, telle que vue dans la perspective d'un nœud G.9951/2, effectivement identique à celle des transmissions régulières de G.9951/2. Bien que le temps de support réservé pour trois créneaux de signal à la fin d'un CP ne soit pas toujours nécessaire, ils garantissent que la distribution du support va ressembler à des transmissions conformes à G.9951/2 dans l'éventualité d'une collision à la fin d'une CTXOP.

7.3.8 Paramètres MAC synchrones

Le présent paragraphe définit les paramètres SMAC, qui doivent supplanter toute autre valeur de ces paramètres dans les autres parties de la présente Recommandation.

Tableau 7-6/G.9954 – Paramètres SMAC

Paragraphe	Paramètre	Mini	Maxi	Unité
7.1 Modes de fonctionnement 7.3.5.1 Synchronisation	MAC_MODE_SWITCH_ TIMELIMIT		50	millisecondes
7.3.3.1 Le cycle MAC	MAP_IFG	CS_IFG	63	microsecondes
7.3.3.1 Le cycle MAC	CS_ICG	CS_IFG		microsecondes
	TXOP_LENGTH	0	32767	TIME_SLOTS
7.3.3.2 Longueur du cycle MAC	CYCLE_MAX		50	millisecondes
7.3.3.2 Longueur du cycle MAC	CYCLE_MIN	5		millisecondes
7.3.3.5 Rythme du protocole MAC synchrone	TIME_SLOT	500	500	nanosecondes
7.3.4.3 Programmation	MIN_UTXOP_TIME	500		microsecondes
7.3.4.3 Programmation	MIN_UTXOP_LENGTH	217		microsecondes
7.3.5.1 Synchronisation	SYNC_TIMEOUT		150	millisecondes
7.3.7 Résolution de collision durant le mode SMAC	CP_MIN	217		microsecondes
8.4 Exigences du maître dans un réseau mixte	G.9951/2_TXOP_LENGTH	168		microsecondes

7.4 Agrégation de paquet

Les appareils G.9954 doivent prendre en charge l'agrégation des trames de couche Liaison (paquets) en une seule trame de couche Physique (rafale). L'objet de l'agrégation de paquet est de réduire les redondances associées aux trames de couche Physique en enchaînant les paquets provenant de la même source et allant à la même destination en une seule rafale. Les paquets agrégés en une seule rafale doivent soit appartenir au même flux, soit avoir une priorité supérieure ou égale à la priorité du premier paquet de la trame agrégée.

L'agrégation réduit la redondance par paquet en retirant l'IFG entre les paquets agrégés et permet un partage des données d'en-tête communes (par exemple, DA, SA, etc.). De plus, l'en-tête de rafale à faible débit de symbole et à faible constellation est partagé par les paquets agrégés.

Le format de trame d'agrégation doit utiliser la trame de contrôle de rafale de trame de couche Liaison de G.9954 pour incorporer les données des paquets agrégés. Ce format de trame de contrôle de couche Liaison est décrit dans tous ses détails au § 10.13.

L'agrégation peut être effectuée dans les deux modes de fonctionnement SMAC et AMAC. Dans l'un et l'autre cas, l'agrégation doit être conforme aux règles de base suivantes:

- la longueur maximale de la trame agrégée ne doit pas dépasser le temps maximal autorisé sur le câble;
- le nombre maximal de trames agrégées dans une rafale doit être négocié entre la source et la destination, en utilisant le protocole CSA ou le protocole de signalisation de flux;
- toutes les trames agrégées dans une rafale doivent avoir les mêmes adresses de source et de destination. L'adresse de destination peut être une adresse de DIFFUSION ou MULTIDIFFUSION;

- les priorités de toutes les trames agrégées d'une rafale doivent être supérieures ou égales à la priorité de la première sous-trame de la rafale;
- un en-tête de terminaison de rafale doit être utilisé pour indiquer la fin d'une rafale.

En mode SMAC, l'agrégation peut être effectuée jusqu'aux limites de la taille de la TXOP dans laquelle la trame sera transmise ou jusqu'au maximum de la taille de trame de niveau Liaison, selon ce qui est le plus petit.

Comme la longueur des TXOP pour les flux est calculée en fonction des exigences de délai de latence des flux, on pourrait dire que l'agrégation est effectuée jusqu'aux limites du délai de latence admis pour un flux.

En mode AMAC, le protocole MAC peut utiliser la spécification du délai de latence et la spécification de taille nominale de paquet pour un flux, pour déterminer la quantité d'agrégation à effectuer.

La Figure 7-16 montre une vue éclatée du format d'agrégation de trame.

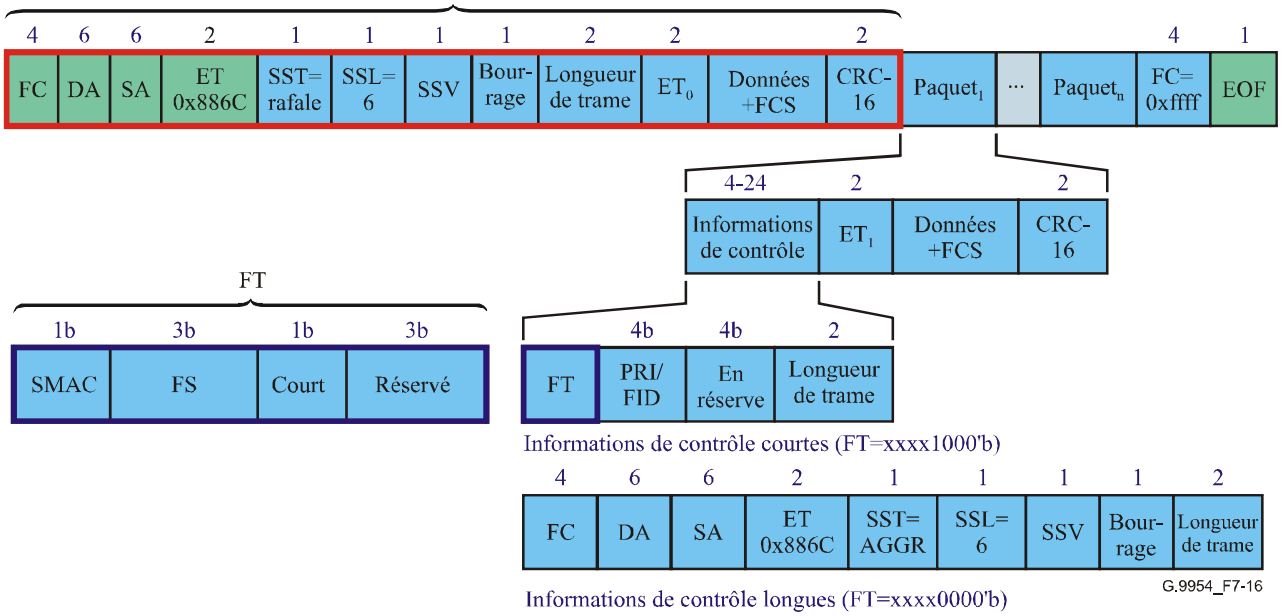

Figure 7-16/G.9954 – Format d'agrégation de trame

Le format d'agrégation de trame prend en charge une forme d'agrégation "courte" et une forme "longue". Dans la forme "longue", chaque trame agrégée doit contenir un en-tête de paquet complet. Cette forme contient des informations d'en-tête redondantes mais permet un traitement simple, à l'émission et à la réception. Dans la forme "courte", les données redondantes d'en-tête n'apparaissent qu'une seule fois, dans le premier paquet (paquet 0) et sont ensuite partagées par toutes les autres trames agrégées. Cette forme est plus efficace pour l'utilisation du support mais peut impliquer des capacités de traitement supplémentaires.

La forme d'agrégation acceptée par un appareil doit être publiée en utilisant le protocole CSA. Le format d'agrégation "long" doit être accepté par toutes les implémentations. L'acceptation du format d'agrégation "court" est facultative.

Pour les trames qui utilisent l'en-tête d'informations de contrôle "long", le champ FCS doit avoir la même signification que décrit dans la trame de la norme 802.3 de l'IEEE et elle est calculée sur les champs DA, SA, EtherType et Données de la trame. Pour les trames utilisant la forme d'agrégation d'en-tête d'informations de contrôle "courte", la FCS doit être calculée à partir du premier bit du

champ FT jusqu'au dernier bit des champs de Données. Le CRC-16 doit être calculé sur les mêmes champs respectifs.

8 Spécification de la compatibilité

8.1 Compatibilité spectrale avec d'autres services sur le même câble

Le gabarit de PSD spécifié est tel que les émetteurs conformes devraient être capables de satisfaire aux exigences de la section 308-e-1-ii de la Partie 68 des règles de la FCC.

Le gabarit spécifie aussi une limite de –140 dBm/Hz au-dessous de 2,0 MHz, qui assure la compatibilité avec les Recommandations UIT-T G.992.1, G.992.2 et le RNIS.

Le gabarit comporte des bandes d'arrêt couvrant les bandes de radioamateurs (par exemple, entre 7,0 et 7,3 MHz), qui réduisent la PSD maximale à –81,5 dBm/Hz. Ceci est inférieur aux recommandations sur le VDSL pour la PSD dans les bandes d'amateur. Comme la compatibilité spectrale pour le VDSL est développée depuis plusieurs années dans différents organismes de normalisation, y compris l'UIT-T, ce gabarit spectral devrait être compatible avec les exigences d'émissions de RFI dans des pays hors de la zone d'Amérique du Nord, tels que le Royaume Uni, le Japon, l'Allemagne et la France.

8.2 Coexistence et interopérabilité avec les nœuds G.9951/2 et AMAC

G.9954 est par nature compatible en amont avec G.9951/2 puisqu'il utilise le même en-tête de couche PHY, le même format de trame et paramètres de distribution de protocole que G.9951/2. Bien que des charges utiles à des débits de symboles supérieurs soient prises en charge dans G.9954, le paramètre débit de symbole est négocié entre l'émetteur et le récepteur. Sur le câble, les transmissions provenant des nœuds G.9954 qui fonctionnent en mode SMAC apparaissent comme des transmissions G.9951/2 standards, quoiqu'à des débits de symboles plus élevés et en utilisant des trames qui peuvent n'être pas reconnues par les nœuds G.9951/2 (mais compatibles vers l'aval).

Dans un réseau mixte de nœuds G.9951/2 et G.9954, le problème de la compatibilité se réduit à celui de la coexistence des modes de protocole SMAC et AMAC en fonctionnement simultané sur le réseau. Dans un réseau homogène de nœuds G.9954 en mode SMAC, toute la distribution d'accès au support est planifiée et les collisions ne peuvent survenir que pendant des périodes de concurrence contrôlées. Cependant, dans un réseau mixte de nœuds G.9951/2 et G.9954, de telles garanties n'existent pas. Des transmissions de nœud G.9951/2 peuvent entrer en collision avec des émissions planifiées, elles peuvent faire irruption dans un silence d'une opportunité de transmission et elles peuvent s'étendre au-delà des limites d'une opportunité de transmission.

Le reste du § 8 décrit une méthode de coexistence et d'interopérabilité avec les appareils G.9951/2 qui préserve la nature synchrone des transmissions en mode SMAC des nœuds G.9954 tout en s'accommodant des transmissions G.9951/2 non synchronisées.

Les nœuds G.9954 doivent coexister et interopérer avec les nœuds G.9951/2 dans un réseau mixte de nœuds G.9951/2 et G.9954. De plus, un réseau de nœuds G.9954 fonctionnant en SMAC doit être capable de coexister et interopérer avec d'autres appareils PNT fonctionnant en mode AMAC.

Normalement seuls les appareils G.9951/2 fonctionneront en mode AMAC en présence d'un maître G.9954. Cependant, un nœud G.9954 "espiègle" peut apparaître dans un environnement où le nœud G.9954 ne peut pas "entendre" les transmissions du MAP.

Dans les paragraphes suivants, les termes de nœud G.9951/2 et de nœud AMAC sont parfois utilisés de façon interchangeable.

8.3 Détection de nœuds G.9951/2

Un nœud G.9954 maître doit être capable de détecter la présence de nœuds G.9951/2 sur le réseau.

A la détection d'un nœud G.9951/2, le maître doit le notifier aux nœuds de point d'extrémité G.9954 en signalant l'événement à l'aide du fanion AMAC_DETECTED dans la trame MAP.

Un appareil de point d'extrémité G.9954 ne devrait pas faire une transmission vers un appareil en utilisant un codage de charge utile (PE) qui n'est pas pris en charge par cet appareil.

Le codage de charge utile utilisé pour communiquer avec un appareil est négocié au moyen de la négociation de débit et aucune connaissance spécifique n'est nécessaire que la version PNT du récepteur. Cependant, le numéro de version du récepteur PNT peut servir pour choisir un PE initial approprié à utiliser avant l'achèvement de la négociation de débit. Ceci implique que pour la communication avec un nœud G.9951/2 le PE initial devrait être le gabarit n° 1, 2 Mbaud, 2 bits par symbole, alors que le PE initial pour la communication avec un nœud G.9954 peut débuter à un débit plus élevé (par exemple, gabarit n° 2, 8 Mbaud, 2 bits par symbole).

Le mécanisme utilisé pour détecter la présence de nœuds G.9951/2 sur le réseau dépend de l'implémentation. Le maître peut détecter des nœuds G.9951/2 dans le réseau en utilisant les informations de numéro de version dans le message de protocole CSA ou en détectant des collisions durant des CFTXOP. Les collisions durant une CFTXOP peuvent être causées par n'importe quel nœud fonctionnant en mode AMAC et pas nécessairement par un nœud G.9951/2.

8.4 Exigences du maître dans un réseau mixte

La présence d'un appareil G.9951/2 doit être signalée si un ou plusieurs appareils G.9951/2 sont détectés sur le réseau. L'absence d'un appareil G.9951/2 doit être signalée si aucun appareil G.9951/2 n'a été "entendu" sur le réseau dans les deux dernières minutes.

Sur détection de nœuds G.9951/2 dans le réseau, le maître doit réserver au moins une TXOP de longueur G.9951/2_TXOP_LENGTH et l'allouer exclusivement à l'usage des nœuds G.9951/2. La TXOP doit être allouée à partir de ressources autrement inoccupées du support dans le cycle. Le maître doit réserver une TXOP G.9951/2 pour chaque priorité de couche Liaison utilisée.

NOTE 1 – En allouant une TXOP exclusivement à des nœuds G.9951/2, cela garantit que:

a) les nœuds G.9954 ne concourront pas pour l'accès au support avec les nœuds G.9951/2 durant cette période;

b) les nœuds G.9954 ne tenteront pas d'entrer dans un cycle de résolution de collision commencé durant la TXOP G.9951/2.

Cela signifie que si plusieurs nœuds G.9951/2 (tous de même priorité) sont en compétition pour l'accès au support au début d'une TXOP G.9951/2, tous les nœuds G.9951/2 en compétition vont réussir à accéder au support avant qu'un nœud G.9954 ne gagne l'accès au support, même si la longueur de la TXOP G.9951/2 est (relativement) courte. Ceci est garanti par DFPQ, qui assure que de nouveaux nœuds ne peuvent se joindre à un cycle de résolution de collision en cours. G.9951/2_TXOP_LENGTH est défini comme étant assez grand pour inclure du temps de support pour tous les créneaux de priorité.

Les ressources réservées du support doivent apparaître dans le MAP publié comme des TXOP allouées exclusivement aux nœuds G.9951/2. Une TXOP allouée à un nœud G.9951/2 doit être identifiée par l'identifiant d'adresse de TXOP G.9951/2 prédéfini (voir le § 7.3.3.4.1).

Lors de la découverte de nœuds G.9951/2 ou AMAC sur le réseau, le maître peut modifier son propre comportement aussi bien que celui des points d'extrémité, afin de mieux s'adapter à l'environnement mixte. Les modifications au comportement des nœuds de point d'extrémité sont, si nécessaire, signalées par le maître aux points d'extrémité au moyen des champs de contrôle de trame du MAP. Le processus de prise de décision par le maître est en dehors du domaine d'application de la présente Recommandation.

NOTE 2 – Un appareil G.9954 devrait essayer de compenser les brouillages possibles causés par les appareils G.9951/2 et AMAC non synchronisés. Les mesures utilisées peuvent comprendre l'allocation de bande passante supplémentaire aux TXOP afin de compenser le délai de latence introduit dans le cycle. La

quantité de temps épargné ajouté à une TXOP dépend du service mais devrait être suffisante pour traiter au moins un paquet complet pour le service particulier.

De plus, lors de la découverte de nœuds G.9951/2 (ou AMAC) sur le réseau, le maître doit signaler, au moyen du MAP, les changements de comportement de point d'extrémité suivants:

1) méthode de résolution de collision – Le maître doit établir la méthode de résolution de collision au mode AMAC dans un réseau mixte. Pour des informations complémentaires sur la résolution de collision dans un réseau mixte, les § 7.2.5 et 8.6.2;
2) réparation de délai de latence de cycle – Le maître doit signaler la politique à utiliser pour contrôler le délai de latence au début du cycle MAC si le début du cycle est retardé. Pour des informations complémentaires, voir le § 8.6.4;
3) limite de priorité d'émission en période de concurrence – Le maître doit signaler la priorité de couche Liaison à utiliser pour toutes les transmissions au sein d'une TXOP en concurrence (CTXOP ou UTXOP).

NOTE 3 – Comme les transmissions au sein des CFTXOP sont équivalentes aux transmissions à la priorité = 7, en réglant la limite de priorité d'émission dans les CTXOP à une valeur inférieure à 7 (par exemple, priorité = 6), la préférence de priorité peut être donnée à des transmissions sans concurrence par rapport à des transmissions fondées sur la concurrence. Cette approche devrait être adoptée.

8.5 Transmissions vers des nœuds G.9951/2

Les transmissions de nœuds G.9954 vers des nœuds G.9951/2 doivent être conformes au format de trame de G.9951/2. Les transmissions doivent être effectuées en utilisant un codage de charge utile de gabarit n° 1. Le débit de symbole du PE et les bits par symbole doivent être négociés entre le nœud G.9951/2 et le nœud G.9954 en utilisant le protocole de négociation de débit de couche Liaison de PNT standard.

Le type de trame (FT) de contrôle de trame des trames envoyées à un nœud G.9951/2 doit être zéro.

Les trames envoyées par un nœud G.9954 à l'adresse de diffusion doivent l'être en utilisant un codage de charge utile de gabarit n° 1 en présence de nœuds G.9951/2 sur le réseau. De même, les trames envoyées à l'adresse multidiffusion doivent l'être à l'aide du codage de charge utile de gabarit n° 1 si un nœud G.9951/2 figure dans l'ensemble d'auditeurs actifs de multidiffusion. Pour une définition de "auditeurs actifs de multidiffusion", voir la description du protocole de négociation de débit au § 10.4.

Un nœud G.9954 NE DOIT PAS envoyer de trames agrégées au nœud G.9951/2 et doit supposer que les "rafales de trames" NE SONT PAS acceptées. Pour des informations complémentaires sur les rafales de trames, voir les protocoles CSA et de rafale de trame respectivement aux § 10.13 et 10.6.

8.6 Coexistence de modes MAC synchrone et asynchrone

Dans un réseau mixte, les nœuds G.9954 fonctionnant en mode SMAC doivent continuer à fonctionner sous le contrôle du maître pendant le traitement des brouillages qui ont pu être introduits par des transmissions en mode AMAC non programmées.

Le traitement des transmissions non programmées (asynchrones) en mode SMAC doit être effectué par tous les nœuds en utilisant une combinaison de techniques de détection de porteuse et détection de collisions. Les transmissions G.9954 en mode synchrone doivent concourir pour l'accès au support avec des transmissions en mode asynchrone comme trames de priorité 7. Les collisions doivent être résolues en utilisant la méthode de résolution de collision définie pour le mode AMAC.

8.6.1 Transmissions planifiées et détection de porteuse

Un nœud G.9954 fonctionnant en mode SMAC ne doit pas émettre dans une TXOP programmée à moins que toutes les conditions suivantes ne soient réunies:

1) une TXOP est allouée au nœud G.9954 (ou au groupe auquel le nœud G.9954 appartient);
2) l'heure de début de la TXOP est arrivé (tel que mesuré par le début du MAP);
3) le support est INACTIF;
4) l'intervalle CS_IFG est entièrement écoulé;
5) les compteurs BL/MBL sont à zéro.

Si les deux premières conditions sont réunies mais que le support est détecté comme OCCUPE ou qu'un intervalle CS_IFG n'a pas encore été détecté, la transmission doit être retenue (empêchée) jusqu'à ce que toutes les conditions soient satisfaites.

NOTE – Cette exigence implique que la détection de porteuse est nécessaire à tout moment dans le mode de fonctionnement SMAC.

8.6.2 Détection et résolution de collision

Dans un réseau mixte de nœuds G.9951/2 et G.9954, des collisions peuvent survenir de la même façon que dans un réseau fonctionnant en mode AMAC. Les nœuds G.9954 fonctionnant en mode SMAC doivent concourir pour l'accès au support avec les nœuds G.9951/2 à la priorité 7.

Les collisions, si elles surviennent, doivent être résolues en utilisant la méthode de résolution de collision AMAC comme suit:

si une collision survient durant une transmission dans une période sans concurrence (CFTXOP), le nœud émetteur doit entrer dans un cycle de résolution de collision et concourir pour l'accès au support jusqu'à réussite de la transmission. La transmission peut occuper jusqu'à la totalité du temps alloué à la CFTXOP sans considération de l'heure réelle de début de transmission. Ceci peut amener la CFTXOP à s'étendre au-delà de l'heure de fin prévue.

Si une collision survient pendant une période de TXOP en concurrence (CTXOP), les nœuds en émission peuvent concourir pour l'accès au support comme dans le cas d'un réseau de nœuds G.9954 d'origine. La durée de la CTXOP ne doit pas s'étendre dans ce cas sans considération de l'heure de début réelle de la transmission. Ceci implique qu'en mode de compatibilité, la longueur d'une CTXOP peut rétrécir étant donné que l'heure de début peut glisser dans le temps (du fait de transmissions non planifiées antérieures) alors que l'heure de fin de la TXOP est fixé. Ceci est intentionnel et sert à réparer le délai de latence introduit par les transmissions non programmées (voir le § 8.6.3).

A la fin d'une CTXOP, si la résolution de collision est en cours (c'est-à-dire que les compteurs d'état de résolution de collision BL/MBL ne sont pas à zéro), les compteurs doivent se remettre à zéro avec le passage d'un créneau de priorité vide. Ce comportement est le même qu'en mode AMAC. Ceci peut introduire un délai de PRI_SLOT au début de la TXOP suivante.

Exemples:

la Figure 8-1 illustre les effets d'une collision qui survient à T_1 sur la transmission programmée en TXOP 1.

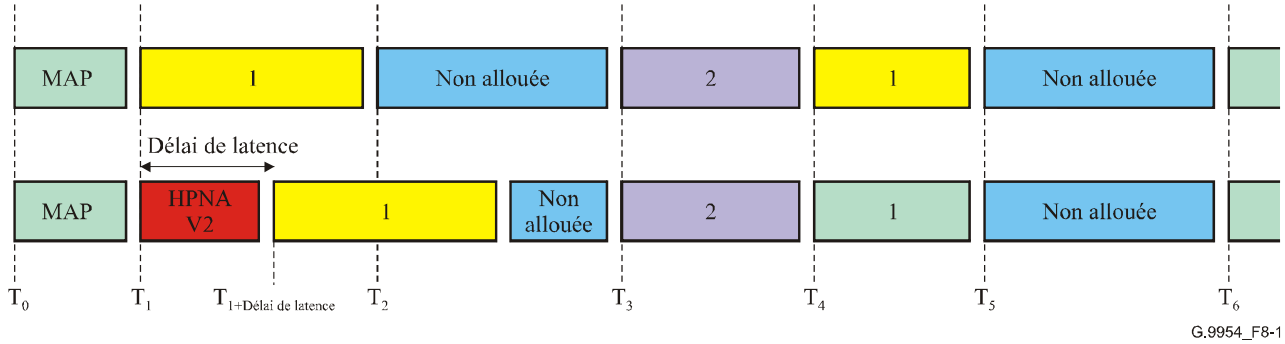

Figure 8-1/G.9954 – Collision et gigue de distribution

Avec des nœuds G.9951/2, des collisions peuvent introduire des retards dans le début de transmission des émissions programmées suivantes. Selon le nombre et la longueur des transmissions non programmées, il est possible que deux, ou plus, transmissions programmées soient retenues par la détection de porteuse jusqu'à ce que le support devienne inactif. A ce point, tous les nœuds retardés vont essayer ensemble d'accéder au support et il en résultera des collisions entre les transmissions programmées. Dans le cas de collisions entre ces transmissions programmées, les méthodes régulières de résolution de collision doivent être appliquées. Il n'y a PAS de garantie de l'ordre des transmissions après une résolution de collision et cet ordre peut être différent de celui programmé dans le MAP d'origine. Ceci est illustré à la Figure 8-2.

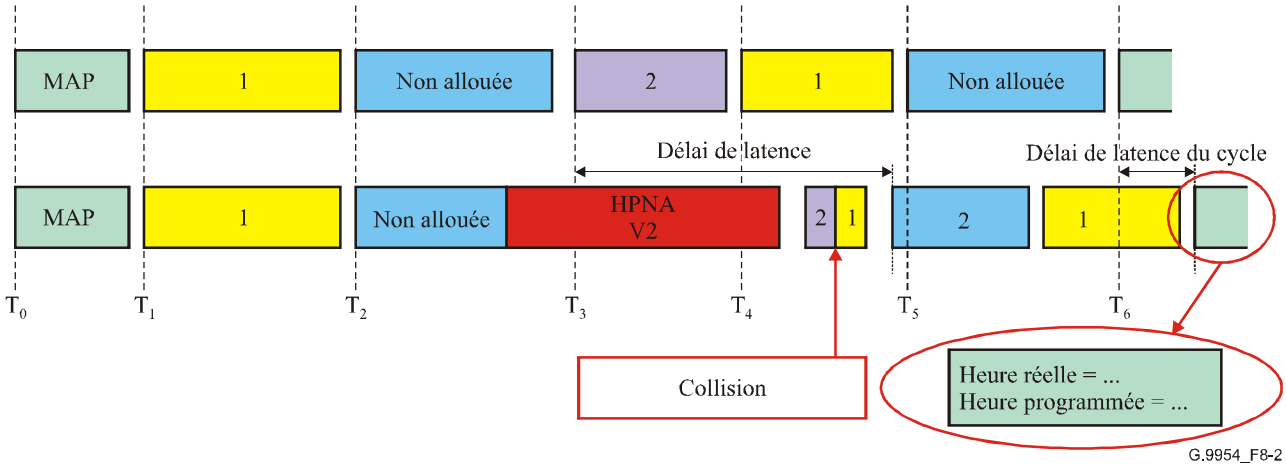

Figure 8-2/G.9954 – Collisions entre transmissions programmées

8.6.3 Compensation horaire (réparation de délai de latence) dans un cycle MAC (pour information)

Les retards de distribution dans les transmissions programmées (en mode synchrone), causés par des transmissions G.9951/2 non programmées, sont naturellement compensés, s'il y a suffisamment de bande passante en réserve (c'est-à-dire des TXOP non allouées) dans le cycle MAC.

La bande passante non allouée (UTXOP) a pour effet d'absorber les retards dans le début des transmissions programmées. Ceci arrive parce que les TXOP non allouées, par définition, n'ont pas besoin de garantir une quantité de bande passante fixée, et représentent plutôt le temps de support restant. Si une partie du temps de support non alloué est consommé par le délai de latence dans une transmission programmée, la longueur de l'UTXOP est simplement raccourcie de la quantité de temps consommé. Cela signifie que l'heure de fin d'une UTXOP est fixée alors que son heure de début peut glisser du montant du retard introduit dans le cycle MAC.

Ceci est illustré à la Figure 8-1 où un retard au début de la transmission dans la TXOP 1 est compensé en permettant à la transmission dans la TXOP 1 de s'étendre au-delà de son heure de fin programmée et il consomme effectivement la bande passante en réserve qui le suit. Alors qu'une TXOP programmée est toujours de longueur fixée avec une heure de départ et de fin variable, une UTXOP est variable en longueur et a une heure de fin fixée mais une heure de départ flottante. Ceci ajuste effectivement la taille des TXOP non allouées du montant du retard (gigue) introduit par les précédentes transmissions.

Si l'heure de début d'une TXOP non allouée est plus tardive que l'heure de fin programmée, la TXOP non allouée est considérée comme nulle ou non existante.

8.6.4 Compensation horaire entre cycles MAC

Les retards de distribution qui surviennent au sein d'un cycle MAC peuvent se propager tout au long du cycle et introduire des retards au début du prochain cycle MAC (c'est-à-dire retarder la transmission de MAP suivante).

Le retard (délai de latence) introduit au début d'un cycle MAC peut être calculé par chaque appareil de point d'extrémité en soustrayant le temps d'arrivée réel du MAP du temps d'arrivée programmé. Le temps d'arrivée réel doit être capturé par le récepteur. Le temps d'arrivée programmé peut être calculé à partir des informations du MAP précédent en additionnant les longueurs de toutes les TXOP et en ajoutant cela à l'heure d'arrivée réelle du MAP correspondant.

Si la méthode de réparation du délai de latence spécifiée dans le MAP indique "régler l'horloge", un nœud de point d'extrémité G.9954 doit compenser la gigue du cycle MAC en réglant son compteur d'horloge synchrone, à réception de la trame MAP, sur le délai de latence calculé au début du cycle MAC plutôt que de remettre le compteur d'horloge synchrone à 0.

NOTE – Comme toutes les transmissions sont programmées par rapport à la base du temps (zéro), ce mécanisme peut être utilisé pour reporter la compensation du délai de latence d'un cycle à l'autre. Autrement, aucune action corrective particulière peut n'être prise si une bande passante non allouée suffisante (en réserve) existe, qui peut être utilisée pour vider les mémoires tampon qui ont accumulé des échantillons en conséquence du retard. Il est de la responsabilité du maître de décider de la stratégie de réparation du délai de latence appropriée et de signaler ces informations aux nœuds du réseau au moyen du MAP.

8.6.5 Exemples de fonctionnement (pour information)

Le paragraphe suivant montre, à titre d'exemple, un ensemble de scénarios possibles d'interférences avec G.9951/2. Tous les scénarios illustrés au Tableau 8-1 supposent la transmission suivante du MAP:

Tableau 8-1/G.9954 – Plan d'accès au support actif

Indice de TXOP	Appareil	Type de TXOP	Heure de début	Longueur
0	maître	Sans concurrence	$T_0 = 0$	L_0
1	"A"	Sans concurrence	$T_1 = L_0$	L_1
2	DIFFUSION	Non allouée	$T_2 = T_1 + L_1$	L_2
3	"B"	Sans concurrence	$T_3 = T_2 + L_2$	L_3
4	"C"	Sans concurrence	$T_4 = T_3 + L_3$	L_4
5	DIFFUSION	Non allouée	$T_5 = T_4 + L_4$	L_5

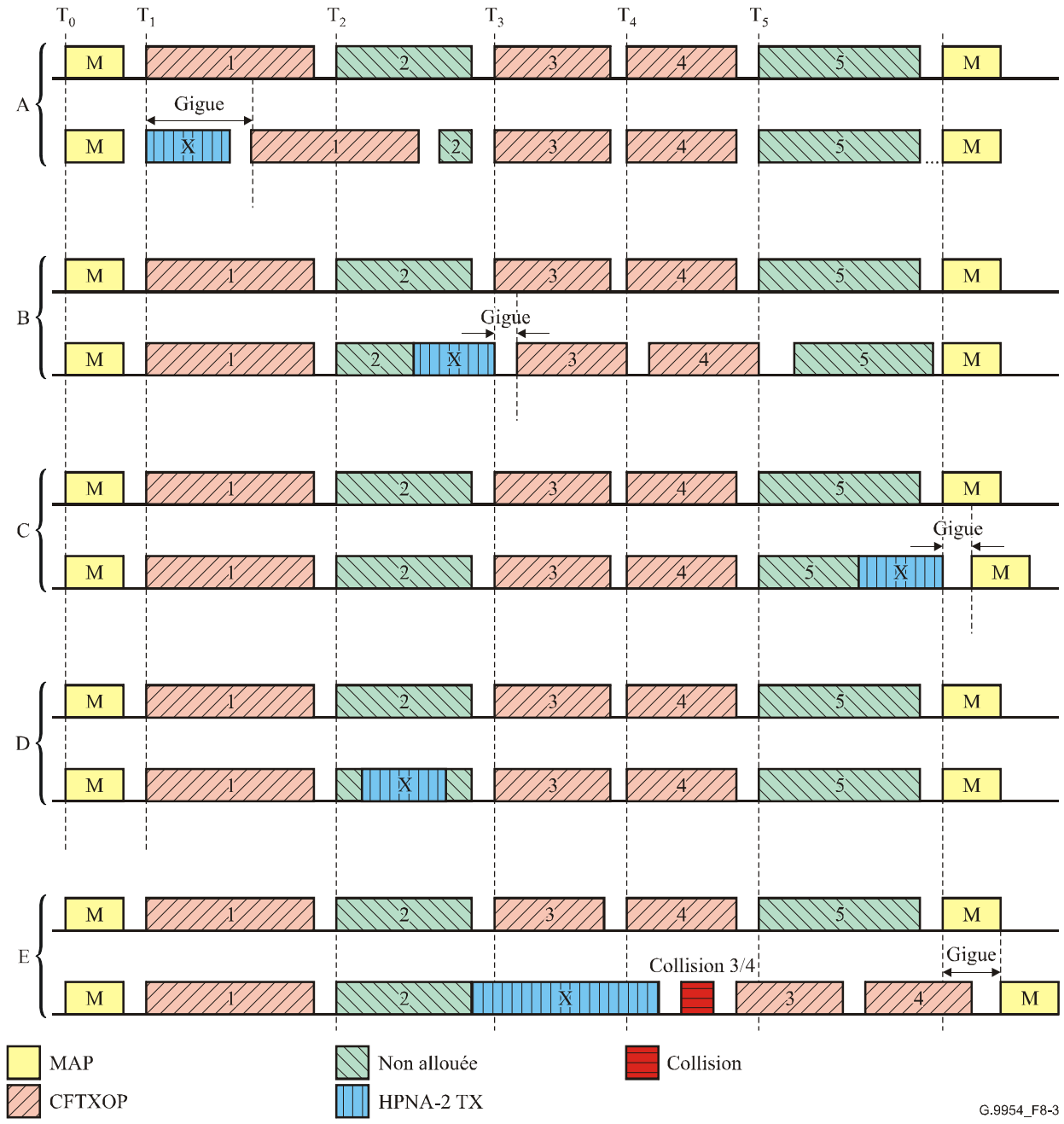

Figure 8-3/G.9954 – Scénarios de coexistence de G.9951/2 et G.9954

Dans la Figure 8-3, exemple A, le maître transmet le MAP à T_0, puis un nœud asynchrone prend le contrôle du support à T_1 avant que le nœud synchrone "A" commence à émettre. Le nœud asynchrone émet une transmission X asynchrone programmée. Comme le nœud asynchrone n'est pas au courant des règles de transmission synchrones, il va émettre aussi longtemps qu'il en a besoin. Comme tous les nœuds sur le support prennent en charge les techniques CSMA/CD, la transmission asynchrone n'est pas interrompue. En utilisant les techniques de détection de porteuse, le nœud synchrone "A" attend que la transmission X soit finie, puis il attend pendant un intervalle interrafales supplémentaire, et commence à émettre. Ceci amène de la gigue, comme indiqué par la flèche. Le nœud synchrone "A" émettra pendant tout le temps alloué même si la TXOP 1 débute en retard. Comme, dans cet exemple, cette émission ne s'étend pas au-delà de l'heure de fin de la TXOP 2 non allouée, la TXOP 3 commence à l'heure à T_3 et la gigue n'est pas propagée.

Dans la Figure 8-3 , exemple B, le maître transmet le MAP comme programmé à T_0, puis le nœud synchrone "A" émet pendant la TXOP 1 comme programmé à T_1. Durant la TXOP 2 non allouée, le support est inactif et, en utilisant les techniques de détection de porteuse, un nœud asynchrone prend le contrôle du support. Le nœud asynchrone émet une transmission X asynchrone non programmée qui s'étend au-delà du temps programmé de TXOP 2. Le nœud synchrone "B" utilise les techniques de détection de porteuse et retarde son émission programmée (TXOP 3) jusqu'à ce que la transmission X soit finie et qu'un intervalle interrafales soit passé. Le nœud synchrone "B" commence alors son émission, avec un retard qui amène de la gigue comme indiqué par la flèche. La transmission pour la TXOP 4 est aussi retardée du même montant, parce que le nœud synchrone "B" va émettre pendant tout le temps alloué de TXOP 3. Comme, dans cet exemple, la transmission pour TXOP 4 ne s'étend pas au-delà de l'heure de fin de la TXOP 5 non allouée, la transmission du MAP du prochain cycle commence à l'heure et la gigue n'est pas propagée.

Dans la Figure 8-3, exemple C, le maître transmet le MAP comme programmé à T_0, puis le nœud synchrone "A" émet durant la TXOP 1 comme programmé à T_1. De même, le nœud synchrone "B" émet pendant la TXOP 3 comme programmé à T_3, et le nœud synchrone "C" émet pendant la TXOP 4 comme programmé à T_4. Durant la TXOP 5 non allouée, le support est inactif et un nœud asynchrone prend le contrôle du support. Le nœud asynchrone émet une transmission X asynchrone non programmée qui s'étend au-delà de l'heure programmé de la TXOP 5 ($T_5 + L_5$). Le maître utilise les techniques de détection de porteuse et retarde sa transmission programmée du MAP jusqu'à ce que la transmission X soit finie et qu'un intervalle intercycles soit écoulé. Il commence alors la transmission du prochain MAP, avec un retard amenant de la gigue comme indiqué par la flèche. Le MAP suivant va servir à déterminer la quantité de gigue introduite. Les nœuds synchrones peuvent régler leurs propres horloges à T_0 + gigue lorsqu'ils reçoivent le MAP retardé par la gigue. Cela permettra aux nœuds synchrones d'essayer d'émettre à l'heure, et de n'être pas retardés par la gigue. Par exemple, si le MAP est suivi d'une TXOP 1' non allouée, puis d'une TXOP 2' en mono diffusion, si la durée de la TXOP 1' non allouée est alors supérieure à la gigue, les TXOP suivantes du cycle vont commencer à l'heure. Ce mécanisme permet la compensation de la gigue dans la transmission d'un MAP.

Dans la Figure 8-3, exemple D, le maître transmet le MAP comme programmé à T_0, puis le nœud synchrone "A" émet durant la TXOP 1 comme programmé à T_1. Durant la TXOP 2 non allouée, le support est inactif et un nœud asynchrone prend le contrôle du support. Le nœud asynchrone émet une transmission X asynchrone non programmée qui, dans cet exemple, ne s'étend pas au-delà de l'heure programmée pour TXOP 2 ($T_2 + L_2$). Aucune gigue n'est introduite dans les transmissions suivantes, et donc aucun traitement n'est à effectuer.

Dans la Figure 8-3, exemple E, le maître transmet le MAP comme programmé à T_0, puis le nœud synchrone "A" émet durant la TXOP 1 comme programmé à T_1. Durant la TXOP 2 non allouée, le support est inactif et, en utilisant les techniques de détection de porteuse, un nœud asynchrone prend le contrôle du support. Le nœud asynchrone émet une transmission X asynchrone non programmée qui s'étend au-delà de l'heure programmée de la TXOP 2 et dans le temps programmé de la TXOP 3. Le nœud synchrone "B" utilise les techniques de détection de porteuse et retarde son heure d'émission jusqu'à ce que la transmission X soit finie et qu'un intervalle interrafales soit écoulé. Cependant, dans la mesure où l'heure de transmission pour la TXOP 4 (T_4) est aussi dépassée, le nœud synchrone "C" utilise les techniques de détection de porteuse et retarde sa transmission programmée jusqu'à ce que la transmission X soit finie et qu'un intervalle interrafales soit écoulé. Ce qui résulte est une collision entre le nœud synchrone "B" et le nœud synchrone "C" qui est ensuite résolue en utilisant la méthode de résolution de collision au prix d'une gigue ultérieure dans le cycle MAC.

9 Qualité de service de G.9954

La prise en charge par G.9951/2 de huit niveaux de priorité fournit un mécanisme de qualité de service de base permettant d'effectuer une différentiation entre plusieurs sortes de services. Ce mécanisme est compatible avec plusieurs mécanismes existants de différentiation entre classes de service tels que les recommandations 802.1D de l'IEEE pour l'étiquette de priorité de VLAN (IEEE 802.1P) et les bits PRECEDENCE définis dans l'interprétation d'origine du champ Type de service (TOS) qu'on trouve dans un en-tête de paquet IP utilisant le protocole de Services différenciés (Diffserv).

Bien que la classification de priorité des services fournisse un certain niveau de prise en charge de la qualité de service, elle ne peut fournir des garanties de QS avec des budgets stricts de délai de latence et de gigue. Dans le but de fournir des contrats de qualité de service stricts, la couche MAC de G.9954 fournit un mécanisme fondé sur le concept de *flux* qui est compatible avec un protocole de type RSVP et prend en charge la spécification de la qualité de service en termes de paramètres explicites de trafic et de débit et non pas simplement un ordonnancement relatif des paquets. Les mécanismes de formatage, de programmation et de régulation du trafic, fondés sur ces paramètres bien définis de qualité de service, sont utilisés ci-après pour fournir un contrôle strict des performances de débit, de délai de latence et de gigue.

Le présent paragraphe spécifie la solution de qualité de service de G.9954.

9.1 Description générale

Le mécanisme de qualité de service de G.9954 est fondé sur le concept de *flux de données* (ou *flux* en abrégé). Un flux représente un flux de données unidirectionnel entre des nœuds de réseau, fondés sur des paramètres bien définis de trafic et de débit de qualité de service, qui permet un contrôle strict sur les paramètres de débit, délai de latence, gigue et BER du réseau.

Les flux sont établis et supprimés service par service. Le maître G.9954 est responsable de l'allocation de bande passante pour les flux, sur demande, et de la publication des décisions d'allocation de bande passante dans le Plan d'accès au support (MAP). Les nœuds de réseau sont responsables de la programmation de leurs transmissions conformément aux contraintes du MAP publié.

L'algorithme d'allocation de bande passante doit mettre en application et garantir les paramètres de qualité de service. Par conséquent, les demandes de réservation de bande passante associées à l'établissement d'un flux sont soumises à la régulation du contrôle d'admission et de mise en forme par le maître. Les demandes d'établissement de flux qui ne peuvent être satisfaites conformément aux paramètres demandés sont rejetées ou bien les paramètres de qualité de service sont renégociés par le maître.

Les exigences de bande passante pour un flux peuvent être modifiées tout au long de sa vie afin de mieux prendre en charge les exigences changeantes de bande passante qui sont caractéristiques de flux de données "en rafale" et à débit binaire variable (VBR) dans des conditions de ligne changeantes.

Les flux sont établis par les couches convergence, soit implicitement – sur identification d'un nouveau service, soit explicitement – en réponse à des messages de protocole de couches supérieures (par exemple, demandes de réservation RSVP) soit sur admission au réseau conformément à une spécification/configuration prédéfinie. De même, les flux peuvent être supprimés implicitement, sur détection d'inactivité ou explicitement sur terminaison d'un service, afin de libérer les ressources réseau associées au flux.

Il est de la responsabilité de la sous-couche convergence de transposer les flux de données entrant dans les flux appropriés qui satisfont leurs exigences individuelles de qualité de service.

En résumé, les principales caractéristiques de qualité de service prises en charge par le protocole MAC de G.9954 sont les suivantes:

- garanties statistiques et déterministes de qualité de service pour la bande passante, la gigue, le délai de latence et le BER;
- *classes de trafic* et *flux de service* décrits par des paramètres bien définis de trafic et de débit;
- flux à débit binaire constant et variable;
- gestion de flux comportant le contrôle d'admission de flux, la réservation de ressources, la négociation/renégociation de qualité de service, l'établissement et la suppression de flux;
- une classification des trames fondée sur la spécification d'un filtre du trafic, par exemple, TOS IP, étiquette de priorité VLAN, type de protocole, adresse de source/destination, etc.;
- régulation, mise en forme et programmation des flux de qualité de service.

9.2 Paramètres de flux de service et de qualité de service

Un flux décrit un canal de communication simplex, avec des caractéristiques de qualité de service bien définies, entre les appareils de source et de destination. Les caractéristiques de qualité de service d'un flux sont décrites par un ensemble de paramètres de trafic et de débit qui sont communiqués entre les appareils G.9954 en utilisant le protocole de *Signalisation de flux*, (voir le § 9.4 pour les détails).

Les caractéristiques de qualité de service d'un flux sont décrites par les paramètres résumés dans le Tableau 9-1 et définies dans les paragraphes qui suivent.

Tableau 9-1/G.9954 – Propriétés des flux

Nom de champ	Description
Source Address (adresse de source)	Adresse MAC de l'appareil à la source du flux
Destination Address (adresse de destination)	Adresse MAC de l'appareil de destination du flux (peut être l'adresse de diffusion).
Flow ID (Identifiant de flux)	Identifiant unique du flux entre les adresses de source et de destination. L'identifiant de flux est alloué par l'appareil G.9954 à la source du flux.
Service Class (classe de service)	Identifie une classe de service (CoS). Utilisé comme raccourci pour la spécification d'un ensemble "bien défini" de paramètres de QS sans qu'il soit besoin de spécifier individuellement les paramètres de QS.
Priority (priorité)	Priorité de couche Liaison allouée au flux
Service Type (type de service)	Définit le type de service pris en charge par le flux: 0 Débit binaire constant 1 Temps réel – Débit binaire variable 2 En différé – Débit binaire variable 3 Au mieux
Maximum Latency (délai de latence maximal)	Délai maximal tolérable de transmission et de file d'attente conformément au Tableau 10-69.
Maximum Jitter (gigue maximale)	Variation maximale de délai conformément au Tableau 10-69
ACK Policy (politique d'accusé de réception)	0 Aucune 1 LARQ

Tableau 9-1/G.9954 – Propriétés des flux

Nom de champ	Description
FEC Policy (politique de contrôle d'erreur aval)	0 Aucune 1 RS 2 à 3 Réservé
Aggregation Policy (politique d'agrégation)	0 Pas d'agrégation 1 Agrégation de niveau MAC
CRC Error Handling Policy (politique de traitement d'erreur de CRC)	0 Ne pas détruire les paquets ayant des erreurs de CRC 1 Détruire les paquets ayant des erreurs de CRC
Nominal Packet Size (taille nominale de paquet)	Taille nominale de paquet en octets pour les paquets associés au service. Une valeur de 0 indique une valeur non spécifiée ou inconnue.
Maximum data rate (débit de données maximal)	Débit de crête de rafale en unités de 4 kbit/s. Tenir compte du débit de données net (charge utile).
Average data rate (débit de données moyen)	Débit binaire moyen demandé par le service en unités de 4 kbit/s.
Minimum data rate (débit de données minimal)	Débit binaire minimal demandé en unités de 4 kbit/s pour le fonctionnement du service. Ce nombre est supposé être différent de zéro pour le seul trafic en temps réel qui demande un délai de transmission minimal.
BER (BER, taux d'erreurs binaires)	Taux d'erreurs binaires de niveau service. Sert dans la négociation de débit à choisir le codage de charge utile souhaité qui réalise le débit de données brutes le plus élevé et satisfait aussi aux exigences de BER.
Payload Encoding (codage de charge utile)	Codage de charge utile utilisé sur le canal logique. Ce paramètre ne doit être mis que lors de la communication de paramètres de flux au maître. Entre les points d'extrémité de flux, le codage de charge utile est négocié en utilisant la négociation de débit.
Packet Timeout (fin de temporisation de paquet)	Quantité de temps en ms pendant laquelle un paquet va rester en file d'attente avant d'être supprimé de la file d'attente du flux. Une valeur de 0 indique que les paquets n'arrivent jamais en fin de temporisation et restent dans la queue jusqu'à être transmis en ligne.
TX Timeslot (créneau horaire d'émission)	Créneau horaire de la première TXOP définie pour le flux. Ce champ peut être établi par les couches supérieures durant l'établissement du flux afin de synchroniser les TXOP allouées avec une source externe. Ceci est destiné aux services isochrones. Le temps est mesuré en unités de 2 à 13 ms avec référence à la référence horaire du maître telle que publiée dans l'indication de rapport d'horodatage; voir le § 10.18.
Flow Inactivity Timeout (fin de temporisation d'inactivité de flux)	Quantité de temps (en ms) pendant laquelle un flux va rester "en vie", en l'absence de tout trafic, avant destruction automatique du flux et libération des ressources. Une valeur de 0 indique que le flux n'est pas automatiquement supprimé. Pour plus d'informations sur la suppression de flux, voir le § 10.17.

9.2.1 Adresse de source et de destination

Les adresses de source et de destination d'un flux sont identifiées respectivement par les adresses de source et de destination de l'appareil. L'adresse de source est une adresse MAC de 48 bits en monodiffusion qui identifie l'appareil qui est à la source du flux. L'adresse de destination identifie la destination du flux et peut être une adresse MAC de 48 bits en monodiffusion, multidiffusion ou diffusion.

9.2.2 Flow ID

Le Flow ID est un identifiant de flux unique entre les adresses de source et de destination. Le Flow ID doit être alloué localement par l'appareil qui est à la source du flux.

Pour plus d'informations sur les Flow ID, voir le § 7.3.2.

9.2.3 Classe de service

Une *Classe de service* définit une collection de propriétés de flux de données (service) organisée en une classe pourvue d'une dénomination qui peut être identifiée simplement (par numérotation) par les entités de couche supérieure.

Cette facilité permet que les propriétés de service soient définies globalement et maintenues centralement chez le maître. Les couches de protocole supérieures ou les nœuds de point d'extrémité peuvent approvisionner des flux de service en les identifiant par leur numéro sans réellement spécifier les paramètres de qualité de service du flux. Cela définit implicitement un ensemble de paramètres de qualité de service. De plus, des amendements aux propriétés de QS de base d'une classe de service peuvent être faits en redéfinissant les paramètres d'un flux individuel.

Pour une liste complète des classes de service prédéfinies et leurs paramètres de QS, voir le § 7.3.2.

9.2.4 Classe de priorité

La classe de priorité représente la priorité de couche Liaison allouée au flux. La sémantique de la valeur de la priorité relève de G.9951/2 et elle sert à déterminer la priorité de couche PHY à utiliser dans les transmissions en mode AMAC ou lors de transmissions dans une CTXOP (UTXOP). Elle peut aussi être utilisée par le programmeur au sein du maître pour classer les flux dans les décisions de programmation.

L'allocation de priorité devrait suivre les recommandations des normes 802.1D et 802.1P de l'IEEE pour le mappage des priorités d'utilisateur en classes de trafic. Pour des informations complémentaires, voir le § 10.17.

9.2.5 Type de service

Le *Type de service* d'un flux définit le type de garanties d'engagement de qualité de service qui sont requises par le service. Les types de service suivants sont définis:

Tableau 9-2/G.9954 – Types de service

Type de service	Description
Allocation non sollicitée (CBR)	Prend en charge des données en temps réel à faible délai de latence, de taille fixe, périodiques (à débit constant). Le programmeur de ressources garantit l'allocation périodique d'une quantité fixée de bande passante sans demande explicite de bande passante. Utilisé pour les garanties de qualité de service "déterministes".
Temps réel (rt-VBR)	Prend en charge des données à débit binaire variable (VBR) en acceptant des allocations périodiques de données de taille variable. Convient pour les flux de vidéo MPEG.
Différé (nrt-VBR)	Semblable au service en temps réel excepté que le programmeur traite des flux en différé à un débit plus lent que les flux en temps réel.
Au mieux (BE)	Semblable au service en différé excepté que l'accès fondé sur la concurrence peut être défini au sein de la TXOP allouée. Aucune garantie (c'est-à-dire au mieux) n'est fournie quant à la fréquence ou la longueur des TXOP fournies par le programmeur pour les services au mieux.

Le paramètre *type de service* peut être utilisé par le programmeur du maître dans les décisions de programmation, et par le nœud de source dans les décisions de gestion de ressources.

9.2.6 Délai de latence maximal

Ce paramètre définit le délai maximal tolérable de transmission et mise en file d'attente pour un service. Le paramètre est défini par une valeur tirée d'un ensemble de délais de latence exprimés en ms.

La quantité de délai qu'un service peut tolérer affecte la quantité de mémoire (espace tampon) nécessaire. Pour les appareils qui ont moins d'espace de mémoire tampon disponible que la quantité impliquée par le paramètre de délai de latence, une valeur de délai de latence de remplacement (inférieure) peut être spécifiée par l'appareil de destination dans le message Réponse à établissement/modification de flux utilisé dans le protocole de signalisation de flux.

Le paramètre *délai de latence maximal* doit être utilisé par le programmeur du maître dans les décisions de programmation concernant la longueur et le nombre des TXOP allouées au service dans le cycle MAC. Ce paramètre peut aussi être utilisé en mode AMAC pour contrôler la longueur d'une rafale de paquets agrégés qui appartiennent au même service.

Pour des détails complémentaires sur les valeurs de délai de latence acceptées et le protocole de signalisation de flux, voir le § 10.17.

9.2.7 Gigue maximale

Le paramètre gigue maximale définit la variation de retard maximal dans les valeurs de délai de latence pour un service au-dessus et au-dessous de la valeur moyenne de délai de latence. La gigue maximale est en (±Max) ms.

Le paramètre *gigue maximale* devrait être utilisé par le programmeur du maître dans la programmation des décisions qui concernent la position des TXOP au sein du cycle MAC.

Les valeurs de gigue sont exprimées comme une valeur désignée dans un ensemble de valeurs de gigue définies. Pour des détails complémentaires sur les valeurs de gigue acceptées, voir la description au § 10.17.

9.2.8 Politique d'accusé de réception (ACK)

Ce fanion indique si le flux nécessite des accusés de réception de couche Liaison utilisant le mécanisme du protocole LARQ pour réduire le taux d'erreur de paquet (PER). L'ARQ est spécifié par canal ARQ et un canal ARQ est défini par un flux, c'est-à-dire par le tuplet (*adresse de source, adresse de destination*, *ID de flux*) en fonctionnement en mode synchrone et par le tuplet (*adresse de source, adresse de destination*, *priorité*) en fonctionnement en mode AMAC.

NOTE – Les protocoles fondés sur TCP sont des candidats naturels à l'application d'une politique d'accusé de réception de couche Liaison car les performances de TCP se dégradent de façon significative lors de l'augmentation des erreurs de paquet.

9.2.9 Politique de contrôle d'erreur aval (FEC)

Ce fanion indique si le codage Reed-Solomon doit être appliqué sur le canal de communication défini par le flux. Cette indication doit être utilisée par un récepteur pour déterminer si les informations de redondance Reed-Solomon doivent être envoyées à l'émetteur, à la source du flux, pendant la négociation de débit.

9.2.10 Politique d'agrégation

Les caractéristiques de délai de latence d'un flux sont utilisées par le programmeur pour déterminer quelle quantité de données du flux peut être agrégée en une seule rafale de transmission (trame). Les décisions de programmation à prendre en compte pour les exigences de délai de latence d'un flux sont prises par le maître lors du calcul de la taille d'une TXOP dans le MAP. De même un appareil de point d'extrémité effectuant la programmation du trafic local (comme dans le cas de mode de fonctionnement AMAC) peut utiliser les caractéristiques de délai de latence pour déterminer la quantité d'agrégation et la taille de rafale de transmission.

L'agrégation peut être complètement désactivée pour un flux, sans considération du paramètre de délai de latence, en spécifiant une politique d'agrégation de "*Pas d'agrégation*".

NOTE – Une politique de "Pas d'agrégation" peut être utile lorsque l'agrégation est effectuée à des couches de protocole supérieures et qu'aucune agrégation supplémentaire n'est souhaitée.

9.2.11 Politique de traitement d'erreur de CRC

Le présent paragraphe spécifie la politique à utiliser lorsque la couche MAC traite des paquets contenant des erreurs de CRC. Les paquets erronés peuvent être supprimés par les couches MAC/Liaison ou repassés à des couches de protocole supérieures avec des bits erronés inclus.

La politique de traitement d'erreur de CRC particulière affecte la sémantique du paramètre BER, comme décrit au § 9.2.14.

NOTE – Certains services sont tolérants pour un petit nombre de bits erronés dans le flux de données. Si la politique de traitement d'erreur de CRC spécifie que les paquets erronés devraient être supprimés, cela implique un BER = 0 dans la mesure où aucune erreur binaire ne sera passée aux couches de protocole supérieures. Cependant, la suppression complète de paquets introduit des erreurs de paquet et le paramètre PER devient alors la mesure dominante. Un PER = 0 peut être obtenu avec LARQ (politique d'accusé de réception) aux dépends du délai de latence.

9.2.12 Taille nominale de paquet

La taille nominale de paquet, en octets, pour les paquets associés au service. Une valeur de 0 indique une valeur non spécifiée ou inconnue.

9.2.13 Débits de données maximal, moyen et minimal

Les débits binaires de crête, moyen et minimal nécessaires pour qu'un service fonctionne effectivement. Les débits de données sont exprimés en unités de 4 kbit/s.

Pour les flux CBR, les débits de données minimal, maximal et moyen sont tous égaux. Le débit de données minimal attendu n'est différent de zéro que pour le trafic en temps réel qui exige un délai de transmission minimal.

Etant donné la taille nominale de paquet et les débits de données d'un service, il est possible de réguler et formater le trafic d'une façon conforme aux spécifications du service. Ceci peut être nécessaire dans certaines implémentations pour garantir qu'un flux ne consomme pas plus de ressources qu'il n'est défini par sa spécification de trafic. L'allocation des TXOP dans le MAP impose par nature le formatage du trafic sur les points d'extrémité.

9.2.14 Taux d'erreurs binaires (BER)

Chaque service a une exigence de BER associée qui spécifie le rapport d'erreurs binaires par rapport aux bits "non erronés" qu'un service peut tolérer avant que la qualité de service en soit affectée.

Le paramètre BER sert à décrire la probabilité d'erreur par bit, si les paquets sont livrés aux couches supérieures avec les erreurs de CRC, ou le taux d'erreur de paquet (PER, *packet error rate*) divisé par le nombre moyen de bits par paquet, si les paquets avec erreur de CRC sont supprimés. La politique de traitement des paquets avec des erreurs de CRC est spécifiée par le fanion Politique de traitement d'erreur de CRC (voir le § 9.2.11).

Par exemple, considérons un service utilisant des paquets de 1500 octets et nécessitant un $PER = 10^{-2}$, alors $BER = 10^{-2}/(1500 \times 8) \approx 10^{-6}$.

NOTE – Le BER de niveau de service est utilisé pendant la négociation de débit pour déterminer le meilleur codage de charge utile qui peut être utilisé afin de fournir le débit le plus élevé tout au long du canal de communication pour satisfaire aux exigences de BER d'un service. Pour des informations complémentaires sur la négociation de débit, voir le § 10.4.

9.2.15 Codage de charge utile

Ce paramètre définit le codage de charge utile (PE) à utiliser sur le canal. Le PE choisi est déterminé au moyen de la négociation de débit et représente le PE fournissant le débit binaire brut le plus élevé qui satisfait le paramètre BER pour le service.

9.2.16 Créneau horaire d'émission

Afin de prendre en charge la synchronisation des TXOP d'un flux avec une source externe (par exemple, des créneaux horaires amont dans un réseau d'accès à haut débit), l'initiateur d'une séquence d'établissement de flux peut indiquer la distribution souhaitée des TXOP sur le réseau de rattachement. La distribution est spécifiée par un temps absolu mesuré par rapport au temps de référence du maître.

NOTE 1 – Cette caractéristique nécessite qu'un nœud de point d'extrémité synchronise son horloge avec la référence d'horloge du maître en utilisant le protocole de référence d'horodatage. L'heure spécifiée est un temps absolu (se rappeler que nous sommes synchronisés avec l'horloge du maître). Le maître connaît l'heure demandée et le délai de latence maximal et donc il peut calculer le point dans le temps où il devrait allouer les TXOP. Ce paramètre n'est destiné qu'à aider les maîtres à programmer les décisions.

Lors de l'allocation de bande passante aux flux spécifiés, le programmeur du maître peut utiliser ces informations pour influencer la localisation des TXOP associées au sein du cycle MAC. Lorsque aucune information de distribution n'est fournie, le programmeur du maître est libre d'allouer les TXOP comme il lui semble convenable. Il n'y a pas d'exigence de satisfaction de la spécification de distribution par le maître.

NOTE 2 – Les informations de distribution sur la localisation des TXOP sont retournées aux couches de convergence supérieures au moyen du mécanisme du MAP. Ceci permet aux couches supérieures de se synchroniser de la même façon avec la distribution réelle du réseau de rattachement si cela est nécessaire.

Pour des détails complémentaires sur la synchronisation de référence d'horloge, voir le § 10.18.

9.2.17 Fin de temporisation d'inactivité de flux

Ce paramètre spécifie la quantité de temps pendant laquelle un flux reste inactif avant que le flux ne soit automatiquement supprimé et ses ressources libérées. Un flux est inactif en l'absence de tout trafic sur le flux. Un flux peut être supprimé par tout appareil qui se trouve aux points d'extrémité d'un flux.

Une fin de temporisation d'inactivité de flux d'une valeur de zéro désactive la péremption de flux pour inactivité.

NOTE – Il est fortement suggéré que les flux soient définis avec la péremption pour inactivité activée pour garantir la libération des ressources du support (et autres) dans le cas de fin du service.

9.3 Classement du trafic de couche convergence

Les paquets provenant de couches de protocole supérieures sont mappés en flux G.9954 sous-jacents par la couche convergence de protocole. Le résultat du mappage est une référence au *descripteur de flux* qui décrit les propriétés du flux auquel appartient un paquet. Le mappage par défaut d'un paquet est le *flux par défaut* qui définit l'accès fondé sur la concurrence au sein des UTXOP sur la base de la priorité.

Les paquets sont mappés dans les flux en utilisant les *Classeurs de trafic*. Un *Classeur de trafic* définit un ensemble spécifique selon le protocole de critères de choix qui sont appliqués aux paquets entrants afin de vérifier leur association à un flux spécifique. Plusieurs classeurs peuvent être définis pour un même flux et plusieurs classeurs peuvent être actifs au même moment dans une couche de convergence. Les classeurs de trafic sont traités dans un ordre qui est défini par leur priorité relative.

Les classeurs de trafic peuvent être installés dans la couche convergence à la source du flux par des opérations de gestion de couche supérieure, pendant l'admission au réseau ou par des opérations de signalisation d'établissement/modification de flux.

Pour des détails complémentaires sur l'établissement des filtres de classement de trafic de couche convergence, voir la description des protocoles d'admission au réseau et de signalisation de flux au § 10.

9.4 Protocole de signalisation de flux

Pour établir un flux avec des paramètres de qualité de service bien définis, comme précisé au § 9.2, un *flux* doit être "établi" entre des appareils de source et de destination. L'*établissement de flux* peut être lancé aussi bien par l'appareil de source que par l'appareil de destination.

Si un flux demande des garanties de qualité de service, la bande passante pour le flux doit être allouée dans le MAP. Pour allouer de la bande passante à un flux dans le MAP, le maître doit être informé de l'établissement du flux.

L'*établissement de flux* doit être effectué en utilisant le *Protocole de signalisation de flux* et il impliquera une séquence d'échange de message entre le nœud qui a l'initiative et le nœud cible, au moyen de laquelle l'initiateur doit spécifier les propriétés du flux (telles que définies au Tableau 9-1) à établir.

Pour établir un flux avec des contrats de qualité de service, l'appareil à la source du flux doit le notifier au maître en utilisant le même *Protocole de signalisation de flux*. Le maître doit effectuer le contrôle d'admission sur la demande d'établissement de flux afin de déterminer si des ressources de support suffisantes existent. S'il est admis, le programmeur du maître doit ouvrir dans le MAP des TXOP qui satisfont les exigences de qualité de service du flux demandé. Si le flux n'est pas admis, le maître doit signaler l'erreur à la source de la demande d'établissement de flux. Le comportement d'un appareil sur échec d'établissement d'un flux dépend de l'implémentation.

NOTE – Une implémentation peut supprimer un flux si la bande passante ne peut lui être réservée par le maître. Autrement, une implémentation peut continuer à transmettre des données sur le canal du flux bien que la bande passante fixée ne puisse être réservée et que les autres paramètres de qualité de service ne puissent être garantis.

Pendant la durée de vie d'un flux, ses spécifications n'ont pas besoin d'être modifiées pour s'accommoder des changements des exigences de débit binaire (variable), des contraintes de ressource (par exemple, mémoires tampon de délai de latence/gigue) et des débits de charge utile réalisables. Les modifications aux spécifications d'un flux sont signalées entre les appareils des points d'extrémité du flux. De plus, si des modifications aux propriétés d'un flux sont telles qu'elles peuvent affecter l'allocation des ressources du support dans le MAP, le maître doit en être informé par l'appareil à la source du flux. La signalisation doit être effectuée en utilisant le protocole de *modification de flux*. Le maître doit effectuer le contrôle d'admission sur la modification de flux demandée.

Durant une modification de flux, les paramètres de qualité de service qui affectent l'allocation de ressources du support dans le MAP sont définis comme suit:

Débit de données maximal, moyen, minimal (§ 9.2.13) – Change par suite des statistiques de trafic collectées à la source du flux.

Codage de charge utile (§ 9.2.15) – Causé par le changement des conditions en ligne et détecté par la négociation de débit.

Gigue ou délai de latence maximal (voir les § 9.2.6 et 9.2.7) – Causé par le changement des contraintes de ressources de mémoire à la source ou la destination du flux.

Taille nominale de paquet (§ 9.2.12) – Causé par la variabilité de la nature des paquets dans le flot de trafic.

Les autres propriétés sont statiques et ne changent pas pendant la durée de vie d'un flux.

Lorsqu'un flux n'est plus nécessaire ou en activité, il doit être supprimé. La *Suppression de flux* doit être effectuée par la couche convergence soit explicitement, en réponse à une demande "suppression" provenant des couches supérieures; soit implicitement par la péremption des flux inactifs. Si un flux a des ressources support qui lui sont allouées (c'est-à-dire des TXOP dans le MAP), le maître doit être informé de la suppression du flux par l'appareil qui est à la source du flux. Le maître doit être informé à l'aide du protocole de *Suppression de flux*. Lorsqu'un flux est supprimé, les ressources auxquelles il est lié doivent être libérées.

Pour une description complète du protocole de signalisation de flux, voir le § 10.17.3.

9.5 Contrôle d'admission

Le contrôle d'admission doit être effectué par le maître lorsqu'il reçoit une demande d'ajout d'un nouveau flux ou de changement des propriétés d'un flux existant au profit de paramètres de qualité de service plus contraignants.

Le contrôle d'admission implique les fonctions suivantes:

1) essai de bande passante;

2) essai de limites de délai de latence/gigue.

A réception d'une demande de *Etablissement de flux* ou *Modifier* le maître doit vérifier la disponibilité de ressources du support suffisantes (c'est-à-dire de temps support non alloué afin de satisfaire les demandes de débit du flux en fonction des exigences de *Débit de données minimal, maximal* et *moyen* et du *Codage de charge utile* exigé sur le canal. De plus, le maître doit vérifier que la localisation des TXOP disponibles est telle que l'allocation des TXOP au flux va permettre à celui-ci de satisfaire aux exigences de limites de délai de latence et de gigue.

Si les résultats de l'essai de contrôle d'admission est l'échec d'un ou des deux essais de contrôle d'admission le maître doit retourner une ERREUR dans la trame de *"Réponse" de signalisation de flux*.

Une spécification de délai de latence/gigue d'un flux représente une limite maximale admissible et par conséquent, le maître peut allouer des ressources du support (TXOP) d'une manière telle qu'elle excède la spécification d'origine de délai de latence et de gigue pour le flux.

Dans le but de satisfaire aux contraintes de qualité de service d'une spécification de flux, le maître peut avoir besoin de réorganiser la localisation et la taille des TXOP allouées pour d'autre flux. Ceci peut être nécessaire afin de "faire de la place" pour ajouter les nouveaux flux. Le maître devrait essayer d'accommoder les flux dans le temps de support disponible existant avant d'envisager la réorganisation d'autres flux afin de localiser l'effet du changement dans le plan d'accès au support et pour NE PAS introduire de délai de latence et de gigue superflue (quoique transitoire) dans d'autres flux.

Si l'essai de contrôle d'admission réussit et que le flux demandé peut être établi ou modifié conformément aux paramètres spécifiés, le maître doit réserver les ressources du support pour le flux et publier la réservation dans le MAP.

Pour des informations complémentaires sur le Protocole de signalisation de flux, voir le § 10.17.

9.6 Prise en charge de la qualité de service en mode AMAC

Lors du fonctionnement en mode AMAC de G.9954; la qualité de service est prise en charge en utilisant une combinaison de qualité de service fondée sur la priorité de style G.9951/2 conjointement avec les spécifications de flux de niveau service, comme décrit au § 9.2.

En mode AMAC, les nœuds G.9954 peuvent établir, modifier et supprimer les flux d'une façon similaire au fonctionnement en mode SMAC en utilisant le *Protocole de signalisation de flux*. La signalisation de flux doit être effectuée entre les appareils de source et de destination uniquement.

Les informations contenues dans la spécification du flux doivent être utilisées pour prendre en charge les transmissions de données en mode asynchrone. Les champs de la spécification du flux qui sont pertinents en mode AMAC et leur sémantique sont définis au § 9.2 et ses subdivisions.

NOTE – L'utilisation des spécifications de flux en mode AMAC permet un degré plus fin de contrôle sur les paramètres utilisés pour la transmission de paquets sur le support. Il n'y a cependant aucune prescription pour gérer explicitement les flux en mode AMAC. L'agrégation, le choix de priorité, etc., peuvent toujours être effectués sous la direction des couches supérieures de protocole et de convergence. Cette décision appartient à l'implémentation.

10 Spécification du protocole de couche Liaison

10.1 Aperçu général

La présente Recommandation spécifie le format de couche Liaison à utiliser pour les stations G.9954. De plus, pour les trames de couche Liaison qui sont identifiées par une valeur Ethertype allouée par l'IEEE (0x886c) dans le champ Type/Longueur de la trame, ces trames portent une fonctionnalité de contrôle de liaison, et les définitions de cette fonctionnalité sont fournies dans la présente Recommandation.

La sous-couche LLC est chargée d'effectuer les fonctions de contrôle de liaison. En particulier, elle est responsable de la gestion des informations qui concernent les connexions réseau, de la mise en application des contraintes de classe de service (CoS) et de qualité de service (QS) définies pour les divers flux de service et de la garantie d'une transmission des données résistante aux erreurs en utilisant la négociation de débit, les techniques facultatives de codage Reed-Solomon et les techniques de demande de répétition automatique (ARQ, *Automatic Repeat ReQuest*).

Les fonctions de contrôle de liaison suivantes sont définies dans la couche Liaison de G.9954:

- négociation de débit;
- intégrité de liaison;
- capacité d'annonce;
- demande de répétition automatique limitée (LARQ);
- capacité de mise en rafale de trames;
- synchronisation du cycle MAC;
- enregistrement;
- signalisation de flux;
- choix du maître;
- protocole de certification;
- protocole de gestion de collision;
- incorporation du Reed Solomon;
- rapport d'horodatage.

Ces fonctions de liaisons utilisent des trames de contrôle pour transporter les messages de protocole entre les stations. G.9954 inclut un mécanisme normalisé pour le contrôle réseau et l'incorporation de couche Liaison. Des sous-types individuels font une distinction plus fine des trames de contrôle. Les entités de contrôle de liaison peuvent être implémentées dans le matériel ou pilotées par le logiciel. Les trames de contrôle de liaison ne sont pas vues de la couche 3 (IP) de la pile réseau, et ne doivent pas être relayées entre les segments du réseau.

10.1.1 Profil minimal de prise en charge de protocole de liaison pour les protocoles de liaison de G.9954

Le profil minimal de prise en charge du protocole de liaison pour les protocoles de liaison de G.9954 permet des implémentations moins complexes de la spécification G.9954. Alors que tous les protocoles de commande servent une importante fonction dans les opérations du réseau, il est possible d'implémenter un sous-ensemble minimal des protocoles de couche Liaison qui sont compatibles avec des implémentations pleinement fonctionnelles et ne portent pas atteinte à la performance globale des autres stations. L'abréviation Profil minimal sera utilisée dans le reste de la présente Recommandation.

Dans tout le reste de la présente Recommandation, on suppose la prise en charge complète de tous les protocoles de liaison, appelés Profil complet de prise en charge du protocole de liaison à moins que le Profil minimal ne soit explicitement mentionné.

Un appareil G.9954 acceptant le Profil Minimal doit prendre en charge les protocoles de couche Liaison de G.9954 suivants:

- négociation de débit minimal;
- intégrité de liaison;
- annonces de capacité;
- synchronisation de cycle MAC;
- mise en rafale de trames;
- protocole de certification;
- LARQ minimal.

Un tel appareil est capable de se synchroniser avec le cycle MAC synchrone généré par le maître et de contenir ses transmissions à l'intérieur des TXOP non allouées (en concurrence) définies dans le plan d'accès au support (MAP) généré par le maître. L'accès au support est effectué conformément aux règles de transmission AMAC fondées sur la priorité. La mise en rafale de trames est utilisée pour occuper plus efficacement le temps du support. La négociation de débit est effectuée sur les canaux logiques entre les appareils de source et de destination.

10.1.2 Appareil G.9954 acceptant les contrats de qualité de service

En plus des protocoles de couche Liaison du Profil minimal (ci-dessus), un appareil G.9954 acceptant les contrats de qualité de service doit aussi prendre en charge les protocoles de couche Liaison de G.9954 suivants:

- admission au réseau;
- signalisation de flux (appareil de point d'extrémité).

Un tel appareil doit être capable d'effectuer toutes les fonctions d'un appareil G.9954 à profil minimal et doit aussi être capable de gérer les *flux* avec contrats de qualité de service, de demander des réservations de bande passante pour les *flux* et d'effectuer la négociation de débit et LARQ au niveau (à la granularité) d'un flux.

10.1.3 Appareil à capacité de maître G.9954

Un appareil G.9954 qui est capable de devenir un maître de réseau, appelé appareil à capacité de maître en abrégé, doit en plus des protocoles de couche Liaison décrits ci-dessus prendre aussi en charge les protocoles de couche Liaison G.9954 suivants:

- sélection dynamique du maître;
- génération de cycle MAC;

- signalisation de flux (appareil maître);
- rapport d'horodatage (Référence d'horloge du maître).

Un appareil à capacité de maître doit être capable d'assumer le rôle de maître dans un réseau sans maître et de générer des cycles MAC périodiques pour le fonctionnement synchrone. Il doit être capable de s'engager dans la signalisation de flux et de convertir les demandes de signalisation de flux en entrées de programmation. Un appareil à capacité de maître doit aussi être capable d'agir comme Référence d'horloge de maître, en publiant périodiquement son horloge interne pour permettre aux appareils de point d'extrémité de synchroniser leurs horloges internes à l'horloge interne du maître.

10.1.4 Protocoles facultatifs de couche Liaison G.9954

Les protocoles de couche Liaison suivants sont facultatifs pour tous les appareils G.9954:

- rapport d'horodatage (point d'extrémité esclave);
- protocole de gestion de collision;
- incorporation Reed Solomon.

10.2 Format de base de trame de couche Liaison

Le format de base de trame de souche Liaison est décrit au Tableau 10-1.

Tableau 10-1/G.9954 – Format de base de couche Liaison

Champ	Longueur	Explication
DA	6 octets	Adresse de destination
SA	6 octets	Adresse de source
Ethertype	2 octets	Ethertype Ethernet. Valeur arbitraire. Si elle est égale à **0x886c** (Trame de protocole de liaison de PNT. Allouée par l'IEEE) la trame est alors une trame de contrôle de protocole de liaison.
Data	Variable	Données de charge utile
Pad	Variable	Bourrage (si nécessaire pour atteindre la longueur minimale de trame)
FCS	4 octets	Séquence de vérification de trame
CRC-16	2 octets	Séquence de vérification de trame de PNT, décrite au § 10.2.1

Le format de base de trame de couche Liaison de G.9954 se fonde sur le format de trame Ethernet de la norme 802.3 de l'IEEE (n'incluant pas les champs de préambule et SFD de la norme IEEE 802.3) avec une séquence additionnelle de CRC-16 de vérification de trame. Les champs binaires de trame PNT commençant par le champ d'adresse de destination (DA) et se terminant par le champ FCS sont identiques aux champs correspondants décrits dans la norme IEEE 802.3 (voir la Figure 10-1), et sont désignés comme trame Ethernet de niveau Liaison. Les bits d'une trame Ethernet de niveau PHY ont un préambule Ethernet et des bits de délimitation de début de trame (SFD, *start-frame-delimiter*) ajoutés à la trame de niveau Liaison, mais ces bits ne sont pas présents dans les trames G.9954.

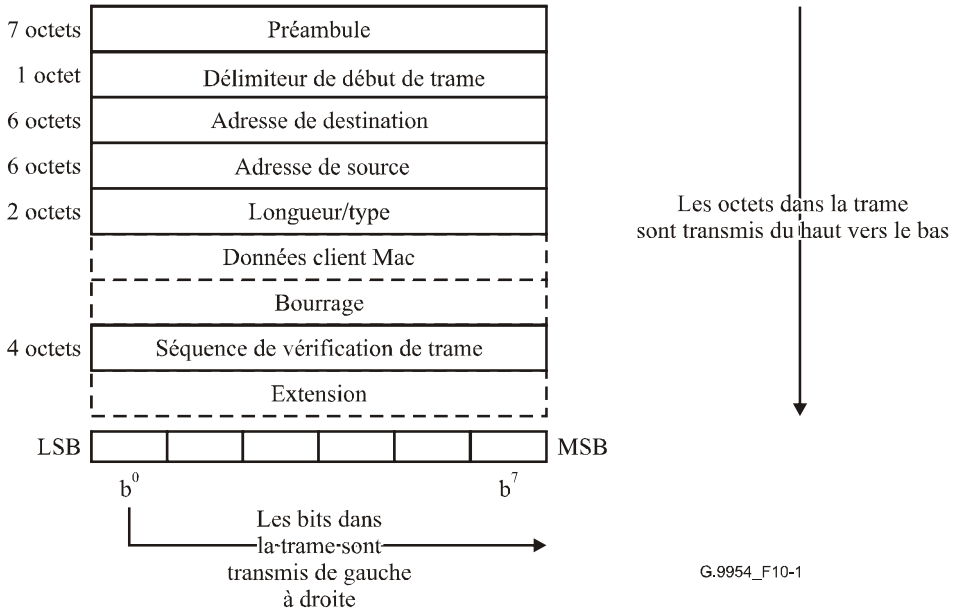

Figure 10-1/G.9954 – Format de trame Ethernet de niveau PHY

Il est prévu que les adresses MAC Ethernet allouées par l'IEEE soient obligatoirement utilisées pour l'adresse de destination (DA) et l'adresse de source (SA).

La trame Ethernet de niveau Liaison consiste en un nombre entier d'octets.

Un CRC-16 additionnel doit être ajouté après la séquence de vérification de trame, comme décrit au § 10.2.1.

Dans les formats de trame définis ci-dessus, la trame de contrôle de liaison doit être convertie, avant la transmission, en une trame G.9954 de couche Physique en ajoutant le préambule, le contrôle de trame, le bourrage et la fin de fichier, comme indiqué à la Figure 6-2.

10.2.1 CRC-16

Un contrôle de redondance cyclique (CRC) de 16 bits doit être calculé en fonction du contenu (non embrouillé) de la trame Ethernet de niveau Liaison en ordre de transmission, commençant avec le premier bit du champ DA et se terminant par le dernier bit du champ FCS. Le codage est défini par le polynôme générateur suivant:

$$G(x) = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$$

Mathématiquement, la valeur du CRC correspondant à une trame donnée est définie par la procédure suivante:

Les 16 premiers bits de la trame en ordre de transmission sont pris en compte.

Les n bits de la trame en ordre de transmission sont alors considérés comme étant les coefficients d'un polynôme $M(x)$ de degré $n - 1$. (Le premier bit du champ Adresse de destination correspond au terme $x^{(n-1)}$ et le dernier bit du champ FCS correspond au terme x^0.)

$M(x)$ est multiplié par x^{16} et divisé par G(x), produisant un reste $R(x)$ de degré ≤ 15.

Les coefficients de $R(x)$ sont considérés comme étant une séquence de 16 bits.

La séquence binaire est mise en valeur et le résultat est le CRC.

Les 16 bits du CRC doivent être placés dans le champ CRC-16 de telle sorte que x^{15} soit le bit de plus faible poids du premier octet, et le terme x^0 soit le bit de plus fort poids du dernier octet. (Les bits du CRC sont donc transmis dans l'ordre x^{15}, x^{14}, .. x^1, x^0.)

NOTE – Le CRC-16 de PNT, conjointement avec la FCS d'Ethernet, donne plus de protection contre les erreurs non détectées que la FCS seule. Ceci est motivé par des facteurs environnementaux qui auront souvent pour résultat un taux d'erreur de trame (FER, *frame error rate*) supérieur de plusieurs ordres de grandeur à celui de l'Ethernet, rendant la FCS insuffisante par elle-même.

10.3 Trames de contrôle de couche Liaison

Les trames de couche Liaison avec un ethertype égal à **0x886c** sont des **trames de contrôle de couche Liaison.** Ces trames ne sont pas fondées sur le format de trame Ethernet de la norme 802.3 de l'IEEE. Il y a deux formats de base de trame de contrôle de liaison, un sous-type long et un sous-type court. Le format de sous-type long est fourni pour des trames de contrôle qui seront spécifiées ultérieurement, où la quantité d'informations de contrôle dépasse 256 octets. Les trames de contrôle et d'incorporation décrites dans la présente Recommandation utilisent le format de sous-type court.

Dans les formats de trame définis ci-dessous, la trame de contrôle de liaison doit être convertie en une trame de couche Physique avant la transmission en ajoutant le préambule, le contrôle de trame, le bourrage et le signal de fin de fichier comme indiqué à la Figure 6-2.

10.3.1 Format court

La trame de contrôle de liaison de format court est définie au Tableau 10-2. Le champ SSVersion devrait servir à tous les protocoles utilisant l'en-tête de trame de contrôle de liaison de format court. Ce champ spécifie quelle version de format des informations de contrôle est utilisée. Cela permet l'extension ultérieure de chaque SSType.

Tableau 10-2/G.9954 – Format court de trame de contrôle de liaison

Champ	Longueur	Explication
DA	6 octets	Adresse de destination
SA	6 octets	Adresse de source
Ethertype	2 octets	**0x886c** (Trame de protocole de liaison PNT allouée par l'IEEE)
SSType	1 octet	0-127 alloué par le PNT 0 Réservé 1 Trame de contrôle de demande de débit 2 Trame courte d'intégrité de liaison 3 Annonces de capacités 4 LARQ 5 Type de format court spécifique du fabricant 6 Mise en rafale de trame 7 Sélection dynamique du maître 8 Indication de rapport d'horodatage 9-127 Réservé Les valeurs 128 à 255 correspondent au sous-type long.
SSLength	1 octet	Nombre d'octets additionnels dans l'en-tête de contrôle, commençant avec le champ SSVersion (ou le premier octet suivant SSLength s'il n'est pas défini comme SSVersion) et se terminant par le second (dernier) octet du champ Next Ethertype. Le minimum est 2 et le maximum est 255.
SSVersion	1 octet	Numéro de version des informations de contrôle
Control Data	0-252 octets	Informations de contrôle

Tableau 10-2/G.9954 – Format court de trame de contrôle de liaison

Champ	Longueur	Explication
Next Ethertype	2 octets	Ethertype/longueur du protocole de couche suivant, 0 s'il n'y en a pas.
Payload data	Variable	S'il n'incorpore pas de trame, ce champ a alors une longueur de 0 octet.
Pad	41-0 octets	Bourrage nécessaire pour compléter au minimum si les données font moins de 41 octets
FCS	4 octets	Séquence de vérification de trame
CRC-16	2 octets	Séquence de vérification de trame PNT

SSLength doit être vérifié pour s'assurer que suffisamment d'informations de contrôle sont présentes. De nouveaux formats de trame, compatibles amont, peuvent contenir des champs de données supplémentaires fixés, mais ils doivent toujours contenir les champs fixés spécifiés dans les premiers formats. Les implémentations de protocole doivent interpréter toutes les trames SSType prises en charge en utilisant la dernière SSVersion acceptée qui est inférieure ou égale à la SSVersion indiquée dans la trame reçue. Les champs inconnus doivent être ignorés. Les données incorporées de SSVersions non prises en charge (plus récentes) de trames incorporant un SSType accepté doivent être transmises à la couche supérieure. La possibilité d'extension de protocole est examinée au § 10.10.

Le champ Next Ethertype est nécessaire pour tous les en-têtes de trame de contrôle de liaison de format court. Entre autres choses, il prend en charge la compatibilité amont en permettant aux récepteurs de toujours enlever les en-têtes de couche Liaison de format court. Si le champ Next Ethertype est zéro, alors la trame est une trame de commande de base et devrait être écartée après le traitement des informations de commande qu'elle contient. Le champ Next Ethertype doit être le dernier des deux octets de l'en-tête de contrôle. La position du champ Next Ethertype dans la trame doit être déterminée en utilisant le champ SSLength afin d'assurer la compatibilité aval.

Si le champ Next Ethertype est différent de zéro, la trame est alors une trame de contrôle d'*incorporation*. Une trame de données incorporées est une trame de contrôle d'incorporation avec tout champ Next Ethertype différent de x0000 ou x886c. Les récepteurs G.9954 doivent être capables de retirer au moins un en-tête de trame de contrôle de liaison de format court d'incorporation provenant de toute trame de données incorporées reçue. Lorsque Next Ethertype est contraint par la spécification de la valeur x0000 pour un SSType ou LSType de trame de contrôle de couche Liaison spécifique, l'incorporation de trames de données n'est pas permise si on utilise ce type de trame de contrôle de couche Liaison. Le seul type de trame de couche Liaison qui accepte l'incorporation de trames de données est la trame LARQ.

Si le SSType n'est pas compris par le récepteur (fait qui peut être annoncé via les futures options CSA), la trame doit alors être abandonnée. Tous les nœuds doivent comprendre le SSType LARQ (bien qu'ils ne soient pas obligés d'implémenter LARQ). La possibilité d'extension de protocole est traitée au § 10.10.

Pour les trames Ethernet standards, l'en-tête et la queue sont ombrés en gris, afin de souligner les formats des trames d'informations de contrôle.

10.3.2 Format long

La trame de contrôle de liaison de format long est définie au Tableau 10-3. Une LSVersion, similaire à la SSVersion, devrait être utilisée par tous les sous-types de format long. Un champ Next_Ethertype est nécessaire pour tous les sous-types de format long. Si les sous-types de format long (valeurs de LSType) ne sont pas compris par le récepteur (fait qui peut être annoncé via les options CSA futures) ils doivent alors être écartés. Les exigences de traitement par rapport à la compatibilité aval, l'abandon des types de trame inconnus avec Next_Ethertype = 0, et le retrait des

en-têtes de format long avec Next_Ethertype = 0, sont identiques à celles des en-têtes de trame de contrôle de format court.

Tableau 10-3/G.9954 – Format long de trame de protocole de liaison

Champ	Longueur	Explication
DA	6 octets	Adresse de destination
SA	6 octets	Adresse de source
Ethertype	2 octets	**0x886c** (Trame de protocole de liaison de PNT. Allouée par l'IEEE)
LSType	2 octets	32768 Réservé 32769 Format long spécifique du fabricant 32770 Protocole de certification 32771 En-tête d'incorporation Reed Solomon 32772 Protocole de synchronisation MAC 32773 Protocole d'admission au réseau 32774 Protocole de signalisation de flux 32775 à 65534 Réservé, alloué par le PNT 65535 Réservé
LSLength	2 octets	Nombre d'octets ajoutés dans l'en-tête de contrôle, commençant par le champ SSVersion (ou le premier octet suivant SSLength s'il n'est pas défini dans SSVersion) et finissant par le second (dernier) octet du champ Next Ethertype. Le minimum est 2 et le maximum est 65 535.
LSVersion	1 octet	Numéro de version des informations de protocoles suivantes
Data	LSLength – 3 octets	Données dépendant du protocole LSType
Next Ethertype	2 octets	Ethertype/longueur du prochain protocole de couche, 0 si aucun.
Payload Data	Variable	S'il n'y a pas de trame d'incorporation, ce champ est de zéro octet.
Pad	42-0 octets	Bourrage à la taille minimale si nécessaire
FCS	4 octets	Séquence de vérification de trame
CRC-16	2 octets	Séquence de vérification de trame PNT

10.3.3 Ordre de transmission

L'ordre de transmission par le réseau des champs des trames est du haut de chaque Tableau vers le bas.

Au sein d'un champ, l'octet de plus fort poids du champ doit être le premier octet du champ à être transmis, avec le bit de plus faible poids de chaque octet transmis en premier. Les octets suivants d'un champ sont transmis en ordre décroissant de poids.

Lorsque des sous-champs sont indiqués dans un Tableau, l'ordre indiqué est de poids décroissant du haut du Tableau vers le bas.

10.4 Fonction de contrôle de négociation de débit

La modulation de charge utile de couche PHY peut utiliser des constellations de 2 à 8 bits par symbole et une de plusieurs *bandes* définies qui sont des combinaisons de débit de symboles de

type de modulation et de gabarit spectral. Pour certaines bandes, des constellations de 8, 9 et 10 bits par symbole existent en option, voir le § 6.3.3.4.

Le codage de charge utile (PE) qui peut être réalisé est fonction de la qualité du canal entre source et destination, et la qualité du canal diffère généralement entre chaque paire de stations en fonction de la topologie du câblage et des affaiblissements de canal spécifiques. La fonction de négociation de débit dans une station de destination utilise les Trames de contrôle de demande de débit (RRCF, *rate request control frame*) pour fournir les informations à une station de source quant au codage de charge utile que la station de source devrait utiliser pour coder les futures trames envoyées à cette destination, et pour générer les trames d'essai pour aider un récepteur à choisir la bande d'utilisation la plus appropriée.

La politique que la station de destination utilise pour choisir le codage de charge utile souhaité et la politique qu'elle utilise pour décider quand transmettre les trames de contrôle de demande de débit dépendent de l'implémentation. Les stations devraient éviter les politiques de transmission qui peuvent avoir pour résultat un trafic de RRCF excessif.

La négociation de débit dans G.9954 est semblable à celle définie dans G.9951/2 excepté que dans G.9954, la signification de canal logique (voir Termes et définitions au § 10.4.3.1) est élargie pour inclure le canal logique défini par les tuplets { Adresse de source, Adresse de destination, Priorité } et { Adresse de source, Adresse de destination, ID de flux }. Cette extension permet un degré de contrôle fin sur le débit choisi pour un canal logique en autorisant la négociation de différents débits par canal logique, même lorsque différents canaux sont sur la même paire Source-Destination. Comme chaque canal logique représente un service ou flux différent, qui peuvent avoir des exigences de BER/PER distincts, la négociation de débit est adaptée par service.

L'objectif de la négociation de débit est de choisir le codage de charge utile qui réalise le débit binaire brut le plus élevé tout en satisfaisant les exigences de BER/PER pour le canal logique.

10.4.1 Format de trame de contrôle de demande de débit

La trame RRCF spécifie une constellation maximale (bits par symbole) que le récepteur (ReqDA) souhaite voir utiliser dans une bande donnée, ou indique qu'une bande donnée n'est pas acceptée. (Voir le Tableau 10-4.)

Tableau 10-4/G.9954 – Définition de la trame de contrôle de demande de débit

Champ	Longueur	Signification
DA	6 octets	Adresse de destination
SA	6 octets	Adresse de source
Ethertype	2 octets	0x886c (trame de contrôle de Liaison PNT)
SSType	1 octet	= SUBTYPE_RATE (1)
SSLength	1 octet	Nombre d'octets additionnels dans l'en-tête de contrôle, commençant avec le champ SSVersion et se terminant avec le second (dernier) octet du champ Next Ethertype. La valeur minimale de SSLength est de 18 pour SSVersion 0.
SSVersion	1 octet	= 0
OpCode	1 octet	Code de fonctionnement pour ce message de contrôle. Voir les définitions au Tableau 10-6.

Tableau 10-4/G.9954 – Définition de la trame de contrôle de demande de débit

Champ	Longueur	Signification
NumBands	1 octet	Nombre de bandes spécifiées dans ce contrôle. Chaque bande a un descripteur de deux octets. Les bandes se réfèrent au type de modulation: *Bande* *Référence* 1 Gabarit spectral 1, modulation à 2 Mbaud 2 Gabarit spectral 1, modulation à 4 Mbaud 3 Gabarit spectral 2, modulation à 2 Mbaud 4 Gabarit spectral 2, modulation à 4 Mbaud 5 Gabarit spectral 2, modulation à 8 Mbaud 6 Gabarit spectral 2, modulation à 16 Mbaud 7 Gabarit spectral 3, modulation à 2 Mbaud 8 Gabarit spectral 3, modulation à 6 Mbaud 9 Gabarit spectral 3, modulation à 12 Mbaud 10 Gabarit spectral 3, modulation à 24 Mbaud NumBands doit être 6 ou 10 sur les transmissions pour les stations G.9954, et les stations doivent ignorer les entrées de bande au delà de Band10 en réception si NumBands est supérieur à 10. La valeur 0 n'est pas admise. Les valeurs supérieures à 6 peuvent être ignorées si la station G.9954 n'accepte pas le gabarit spectral n° 3.
NumAddr	1 octet	Nombre d'adresses spécifié dans la charge utile de ce message de contrôle. NumAddr peut être zéro. La SA qui est dans l'en-tête Ethernet est toujours utilisée, et elle est notée dans les paragraphes suivants comme RefAddr0.
Band1_PE	1 octet	Valeur de PE qui devrait être utilisée pour envoyer les données lorsque la bande est choisie.
Band1_rank	1 octet	Rang de la préférence des ReqDA pour cette bande, 1 est la première préférence, et les autres bandes au sein du gabarit spectral sont allouées en suivant les valeurs de rang croissantes.
• • •		Instances supplémentaires d'informations de bande
BandN_PE	1 octet	Valeur de PE qui devrait être utilisée pour envoyer les données lorsque la bande N est choisie.
BandN_rank	1 octet	Rang de la préférence des ReqDA pour cette bande, 1 est la première préférence, et les autres bandes au sein du gabarit spectral sont allouées en suivant les valeurs de rang croissantes.
RefAddr1	6 octets	Facultatif. Présent si NumAddr ≥ 1. Seconde adresse MAC pour laquelle les débits sont spécifiés, seuls les types d'adresse diffusion et multidiffusion sont permis.
RefAddr2	6 octets	Facultatif. Présent si NumAddr ≥ 2. Troisième adresse MAC pour laquelle les débits sont spécifiés, seuls les types d'adresse diffusion et multidiffusion sont permis.
• • •		[instances supplémentaires de RefAddr, jusqu'à ce que le nombre de champs RefAddr soit égal à NumAddr]
[Additional TLV extensions]		Informations d'extension de ID de flux/Priorité. Voir le § 10.4.2.

Tableau 10-4/G.9954 – Définition de la trame de contrôle de demande de débit

Champ	Longueur	Signification
Next Ethertype	2 octets	= 0
Pad		Pour atteindre minTrameSize si nécessaire
FCS	4 octets	Séquence de vérification de trame
CRC-16	2 octets	Séquence de vérification de trame PNT

Des bandes supplémentaires pourront exister dans des versions ultérieures de la présente Recommandation, et pourront être décrites par des descripteurs de bande {PE, rang} ajoutés après la bande 10. Si des bandes supplémentaires sont présentes, leurs descripteurs apparaîtront entre BandN_Rank et RefAddr1, et les stations G.9954 devront en tenir compte lors de la détermination de la localisation de la liste de RefAddr.

Les stations G.9954 doivent ignorer les spécifications de bande au-delà de Numbands = 10. Si un récepteur ne spécifie pas de bande dans une trame RRCF, ou spécifie un PE de 0 pour une bande, les émetteurs ne doivent alors pas utiliser cette bande. Afin de permettre une détermination non ambiguë des bandes qui sont présentes lorsque des bandes seront ajoutées à l'avenir, les bandes non acceptées qui surviennent doivent utiliser PE = 0 pour indiquer la non-utilisation. Les bandes ne peuvent être non spécifiées que si aucune autre information de bande ne suit.

Les champs NumBands et NumAddr sont placés l'un à côté de l'autre de sorte que tous les champs fixés puissent être référencés à des décalages connus dans la trame.

Le Tableau 10-5 décrit les valeurs allouées qui peuvent apparaître dans les entrées de description de bande de la trame de contrôle de demande de débit.

Tableau 10-5/G.9954 – Valeurs de PE pour les trames de contrôle de demande de débit

PE	Débit de données	Signification
0	N/A	Signifie que cette bande n'est pas acceptée
1	4 Mbit/s	Gabarit spectral 1, 2 Mbaud FDQAM, 2 bits par symbole
2	6 Mbit/s	Gabarit spectral 1, 2 Mbaud FDQAM, 3 bits par symbole
3	8 Mbit/s	Gabarit spectral 1, 2 Mbaud FDQAM, 4 bits par symbole
4	10 Mbit/s	Gabarit spectral 1, 2 Mbaud FDQAM, 5 bits par symbole
5	12 Mbit/s	Gabarit spectral 1, 2 Mbaud FDQAM, 6 bits par symbole
6	14 Mbit/s	Gabarit spectral 1, 2 Mbaud FDQAM, 7 bits par symbole
7	16 Mbit/s	Gabarit spectral 1, 2 Mbaud FDQAM, 8 bits par symbole
8	1 Mbit/s	Réservé pour les systèmes existants
9	8 Mbit/s	Gabarit spectral 1, 4 Mbaud QAM, 2 bits par symbole
10	12 Mbit/s	Gabarit spectral 1, 4 Mbaud QAM, 3 bits par symbole
11	16 Mbit/s	Gabarit spectral 1, 4 Mbaud QAM, 4 bits par symbole
12	20 Mbit/s	Gabarit spectral 1, 4 Mbaud QAM, 5 bits par symbole
13	24 Mbit/s	Gabarit spectral 1, 4 Mbaud QAM, 6 bits par symbole
14	28 Mbit/s	Gabarit spectral 1, 4 Mbaud QAM, 7 bits par symbole
15	32 Mbit/s	Gabarit spectral 1, 4 Mbaud QAM, 8 bits par symbole

Tableau 10-5/G.9954 – Valeurs de PE pour les trames de contrôle de demande de débit

PE	Débit de données	Signification
16-32	N/A	Réservé
33	4 Mbit/s	Gabarit spectral 2, 2 Mbaud FDQAM, 2 bits par symbole
34	6 Mbit/s	Gabarit spectral 2, 2 Mbaud FDQAM, 3 bits par symbole
35	8 Mbit/s	Gabarit spectral 2, 2 Mbaud FDQAM, 4 bits par symbole
36	10 Mbit/s	Gabarit spectral 2, 2 Mbaud FDQAM, 5 bits par symbole
37	12 Mbit/s	Gabarit spectral 2, 2 Mbaud FDQAM, 6 bits par symbole
38	14 Mbit/s	Gabarit spectral 2, 2 Mbaud FDQAM, 7 bits par symbole
39	32 Mbit/s	Gabarit spectral 2, 2 Mbaud FDQAM, 8 bits par symbole
40	N/A	Réservé
41	8 Mbit/s	Gabarit spectral 2, 4 Mbaud FDQAM, 2 bits par symbole
42	12 Mbit/s	Gabarit spectral 2, 4 Mbaud FDQAM, 3 bits par symbole
43	16 Mbit/s	Gabarit spectral 2, 4 Mbaud FDQAM, 4 bits par symbole
44	20 Mbit/s	Gabarit spectral 2, 4 Mbaud FDQAM, 5 bits par symbole
45	24 Mbit/s	Gabarit spectral 2, 4 Mbaud FDQAM, 6 bits par symbole
46	28 Mbit/s	Gabarit spectral 2, 4 Mbaud FDQAM, 7 bits par symbole
47	32 Mbit/s	Gabarit spectral 2, 4 Mbaud FDQAM, 8 bits par symbole
48	N/A	Réservé
49	16 Mbit/s	Gabarit spectral 2, 8 Mbaud FDQAM, 2 bits par symbole
50	24 Mbit/s	Gabarit spectral 2, 8 Mbaud FDQAM, 3 bits par symbole
51	32 Mbit/s	Gabarit spectral 2, 8 Mbaud FDQAM, 4 bits par symbole
52	40 Mbit/s	Gabarit spectral 2, 8 Mbaud FDQAM, 5 bits par symbole
53	48 Mbit/s	Gabarit spectral 2, 8 Mbaud FDQAM, 6 bits par symbole
54	56 Mbit/s	Gabarit spectral 2, 8 Mbaud FDQAM, 7 bits par symbole
55	64 Mbit/s	Gabarit spectral 2, 8 Mbaud FDQAM, 8 bits par symbole
56	N/A	Réservé
57	32 Mbit/s	Gabarit spectral 2, 16 Mbaud QAM, 2 bits par symbole
58	48 Mbit/s	Gabarit spectral 2, 16 Mbaud QAM, 3 bits par symbole
59	64 Mbit/s	Gabarit spectral 2, 16 Mbaud QAM, 4 bits par symbole
60	80 Mbit/s	Gabarit spectral 2, 16 Mbaud QAM, 5 bits par symbole
61	96 Mbit/s	Gabarit spectral 2, 16 Mbaud QAM, 6 bits par symbole
62	112 Mbit/s	Gabarit spectral 2, 16 Mbaud QAM, 7 bits par symbole
63	128 Mbit/s	Gabarit spectral 2, 16 Mbaud, QAM, 8 bits par symbole
64		Réservé
65	4 Mbit/s	Gabarit spectral 3, 2 Mbaud FDQAM, 2 bits par symbole
66	6 Mbit/s	Gabarit spectral 3, 2 Mbaud FDQAM, 3 bits par symbole
67	8 Mbit/s	Gabarit spectral 3, 2 Mbaud FDQAM, 4 bits par symbole
68	10 Mbit/s	Gabarit spectral 3, 2 Mbaud FDQAM, 5 bits par symbole

Tableau 10-5/G.9954 – Valeurs de PE pour les trames de contrôle de demande de débit

PE	Débit de données	Signification
69	12 Mbit/s	Gabarit spectral 3, 2 Mbaud FDQAM, 6 bits par symbole
70	14 Mbit/s	Gabarit spectral 3, 2 Mbaud FDQAM, 7 bits par symbole
71	16 Mbit/s	Gabarit spectral 3, 2 Mbaud FDQAM, 8 bits par symbole
72	N/A	Réservé
73	12 Mbit/s	Gabarit spectral 3, 6 Mbaud FDQAM, 2 bits par symbole
74	18 Mbit/s	Gabarit spectral 3, 6 Mbaud FDQAM, 3 bits par symbole
75	24 Mbit/s	Gabarit spectral 3, 6 Mbaud FDQAM, 4 bits par symbole
76	30 Mbit/s	Gabarit spectral 3, 6 Mbaud FDQAM, 5 bits par symbole
77	36 Mbit/s	Gabarit spectral 3, 6 Mbaud FDQAM, 6 bits par symbole
78	42 Mbit/s	Gabarit spectral 3, 6 Mbaud FDQAM, 7 bits par symbole
79	48 Mbit/s	Gabarit spectral 3, 6 Mbaud FDQAM, 8 bits par symbole
80	N/A	Réservé
81	24 Mbit/s	Gabarit spectral 3, 12 Mbaud FDQAM, 2 bits par symbole
82	36 Mbit/s	Gabarit spectral 3, 12 Mbaud FDQAM, 3 bits par symbole
83	48 Mbit/s	Gabarit spectral 3,12 Mbaud FDQAM, 4 bits par symbole
84	60 Mbit/s	Gabarit spectral 3, 12 Mbaud FDQAM, 5 bits par symbole
85	72 Mbit/s	Gabarit spectral 3, 12 Mbaud FDQAM, 6 bits par symbole
86	84 Mbit/s	Gabarit spectral 3, 12 Mbaud FDQAM, 7 bits par symbole
87	96 Mbit/s	Gabarit spectral 3, 12 Mbaud FDQAM, 8 bits par symbole
88	N/A	Réservé
89	48 Mbit/s	Gabarit spectral 3, 24 Mbaud FDQAM, 2 bits par symbole
90	72 Mbit/s	Gabarit spectral 3, 24 Mbaud FDQAM, 3 bits par symbole
91	96 Mbit/s	Gabarit spectral 3, 24 Mbaud FDQAM, 4 bits par symbole
92	120 Mbit/s	Gabarit spectral 3, 24 Mbaud FDQAM, 5 bits par symbole
93	144 Mbit/s	Gabarit spectral 3, 24 Mbaud FDQAM, 6 bits par symbole
94	168 Mbit/s	Gabarit spectral 3, 24 Mbaud FDQAM, 7 bits par symbole
95	192 Mbit/s	Gabarit spectral 3, 24 Mbaud FDQAM, 8 bits par symbole
96-159	N/A	Réservé
160	16 Mbit/s	Gabarit spectral 2, 2 Mbaud FDQAM, constellation à 8 tours; 8 bits par symbole
161	18 Mbit/s	Gabarit spectral 2, 2 Mbaud FDQAM, constellation à 9 tours; 9 bits par symbole
162	20 Mbit/s	Gabarit spectral 2, 2 Mbaud FDQAM, constellation à 10 tours; 10 bits par symbole
163-167	N/A	Réservé
168	32 Mbit/s	Gabarit spectral 2, 4 Mbaud FDQAM, constellation à 8 tours; 8 bits par symbole
169	36 Mbit/s	Gabarit spectral 2, 4 Mbaud FDQAM, constellation à 9 tours; 9 bits par symbole

Tableau 10-5/G.9954 – Valeurs de PE pour les trames de contrôle de demande de débit

PE	Débit de données	Signification
170	40 Mbit/s	Gabarit spectral 2, 4 Mbaud FDQAM, constellation à 10 tours; 10 bits par symbole
171-175	N/A	Réservé
176	64 Mbit/s	Gabarit spectral 2, 8 Mbaud FDQAM, constellation à 8 tours; 8 bits par symbole
177	72 Mbit/s	Gabarit spectral 2, 8 Mbaud FDQAM, constellation à 9 tours; 9 bits par symbole
178	80 Mbit/s	Gabarit spectral 2, 8 Mbaud FDQAM, constellation à 10 tours; 10 bits par symbole
179-183	N/A	Réservé
184	128 Mbit/s	Gabarit spectral 2, 16 Mbaud FDQAM, constellation à 8 tours; 8 bits par symbole
185	144 Mbit/s	Gabarit spectral 2, 16 Mbaud FDQAM, constellation à 9 tours n; 9 bits par symbole
186	160 Mbit/s	Gabarit spectral 2, 16 Mbaud FDQAM, constellation à 10 tours; 10 bits par symbole
187-191	N/A	Réservé
192	16 Mbit/s	Gabarit spectral 3, 2 Mbaud FDQAM, constellation à 8 tours; 8 bits par symbole
193	18 Mbit/s	Gabarit spectral 3, 2 Mbaud FDQAM, constellation à 9 tours n; 9 bits par symbole
194	20 Mbit/s	Gabarit spectral 3, 2 Mbaud FDQAM, constellation à 10 tours; 10 bits par symbole
195-199	N/A	Réservé
200	48 Mbit/s	Gabarit spectral 3, 6 Mbaud FDQAM, constellation à 8 tours; 8 bits par symbole
201	54 Mbit/s	Gabarit spectral 3, 6 Mbaud FDQAM, constellation à 9 tours; 9 bits par symbole
202	60 Mbit/s	Gabarit spectral 3, 6 Mbaud FDQAM, constellation à 10 tours; 10 bits par symbole
203-207	N/A	Réservé
208	96 Mbit/s	Gabarit spectral 3, 12 Mbaud FDQAM, constellation à 8 tours; 8 bits par symbole
209	108 Mbit/s	Gabarit spectral 3, 12 Mbaud FDQAM, constellation à 9 tours; 9 bits par symbole
210	120 Mbit/s	Gabarit spectral 3, 12 Mbaud FDQAM, constellation à 10 tours; 10 bits par symbole
211-215	N/A	Réservé
216	192 Mbit/s	Gabarit spectral 3, 24 Mbaud FDQAM, constellation à 8 tours; 8 bits par symbole

Tableau 10-5/G.9954 – Valeurs de PE pour les trames de contrôle de demande de débit

PE	Débit de données	Signification
217	216 Mbit/s	Gabarit spectral 3, 24 Mbaud FDQAM, constellation à 9 tours; 9 bits par symbole
218	240 Mbit/s	Gabarit spectral 3, 24 Mbaud FDQAM, constellation à 10 tours; 10 bits par symbole
219-255	N/A	Réservé

Le Tableau 10-6 décrit les valeurs qui peuvent apparaître dans l'entrée OpCode de la trame de contrôle de demande de débit.

Tableau 10-6/G.9954 – Valeurs d'OpCode pour les trames de contrôle de demande de débit

OpCode	Signification
0	Demande de changement de débit
1	Demande d'essai de débit
2	Réponse d'essai de débit
3-255	Réservé

10.4.2 Indication de canal logique du récepteur. Extension de TLV au sous-type SUBTYPE_RATE du LCP

Afin de prendre en charge la négociation de débit sur un canal logique défini par { Adresse de source, Adresse de destination, Priorité } ou { Adresse de source, Adresse de destination, ID de flux } on définit une extension de TLV à la trame de contrôle de demande de débit (RRCF).

Deux paramètres supplémentaires sont inclus pour chaque RefAddr définie dans la RRCF. Ces paramètres indiquent la priorité ou l'identifiant de flux pour le canal logique dont l'Adresse de source est le DA dans l'en-tête Ethernet de la trame RRCF et dont l'Adresse de destination = RefAddr<n>.

Il y a trois types de canal logique définis pour la négociation de débit, qui sont les suivants:

1) canal simple – équivalent à la définition de G.9951/2 de canal logique et défini par la paire { Adresse de source, Adresse de destination }. Aucun identifiant de canal supplémentaire n'est requis. Pour un canal simple un PER = 1e-4 doit être utilisé comme paramètre de PER pour le choix du débit;

2) canal à priorité LARQ – équivalent à la définition de G.9951/2 de canal logique et défini par le tuplet { Adresse de source, Adresse de destination, Priorité }. Pour un canal à priorité LARQ on doit utiliser un PER = 10^{-2} comme paramètre PER pour le choix du débit;

3) canal de flux – définit le canal logique identifié par { Adresse de source, Adresse de destination, ID de flux }. Le BER/PER utilisé comme entrée pour le choix du débit est défini dans les paramètres de flux négociés et signalés entre source et destination durant la signalisation de flux. Pour des informations complémentaires sur les paramètres de flux et le protocole de signalisation de flux, voir le § 10.17.

L'extension de TLV d'identifiant de canal logique est facultative. Si cependant, on trouve l'extension dans la trame RRCF, il doit y avoir une paire de paramètres (RefChanType<n>,

RefChanId<n>) pour chaque RefAddr dans la trame (c'est-à-dire NumAddr+1 entrées). La première entrée doit correspondre à RefAddr0 et la dernière entrée à $RefAddr_{NumAddr.}$ (Voir le Tableau 10-7.)

Tableau 10-7/G.9954 – Informations d'extension d'ID de flux/priorité

Champ	Longueur	Signification
SETag	1 octet	= 3, Identifiant de canal logique facultatif
SELength	1 octet	Longueur totale de l'extension de TLV excluant les octets d'étiquette et longueur. Doit être (NumAddr+1) × 2. Le minimum est 4.
RefChanType0	1 octet	Type de canal logique défini par (DA, RefAddr0, RefId0). Le type de canal définit la sémantique de RefId comme suit: 0 Canal simple: RefId est indéfini. 1 Canal à priorité LARQ: RefId est interprété comme Priorité. 2 Canal de flux: RefId est interprété comme FlowId.
RefId0	1 octet	Le RefId selon la sémantique définie par RefChanType
RefChanType1	1 octet	Type de canal logique défini par (DA, RefAddr1, RefId1). Le type de canal définit la sémantique de RefId comme suit: 0 Canal simple: RefId est indéfini. 1 Canal à priorité LARQ: RefId est interprété comme Priorité. 2 Canal de flux: RefId est interprété comme FlowId.
RefId1	1 octet	Le RefId selon la sémantique définie par RefChanType1
• • •		[instances supplémentaires d'informations d'identification de canal, jusqu'à ce que le nombre de canaux égale NumAddr+1. Le tableau d'identification de canal est facultatif comme indiqué par le mécanisme d'extension de TLV. Si l'extension de TLV n'existe pas, tous les canaux logiques sont supposés être des canaux simples. Autrement, il doit y avoir une entrée explicite d'identification de canal pour chaque RefAddr de RefAddr0..$RefAddr_{NumAddr}$ défini.]

10.4.3 Termes et définitions

Tableau 10-8/G.9954 – Termes et définitions

Terme	Définition
Spécification de bande	Un codage de charge utile (PE) et un rang associés à une bande donnée. Une bande est une seule combinaison de débit de symbole, de type de modulation (par exemple, QAM ou FDQAM) et de fréquence de porteuse. Dix bandes sont définies dans la présente Recommandation.
Canal logique, canal	Flux de trames d'un expéditeur vers un ou plusieurs récepteurs sur un seul segment de réseau, se composant de toutes les trames avec une seule combinaison de 1) DA et SA, ou 2) DA, SA et Priorité, ou 3) DA, SA et ID de flux. Chaque combinaison représente un type de canal différent désignés respectivement comme canaux simples, à priorité LARQ et de flux.
Récepteur	Une station qui reçoit des trames envoyées sur un canal particulier. Si la destination est une adresse en monodiffusion, il y a au plus un récepteur. Si la destination est une adresse de groupe (y compris la diffusion), il peut y avoir beaucoup de récepteurs.
PE de récepteur	Le PE préféré à utiliser sur ce canal, tel que déterminé par le récepteur.

Tableau 10-8/G.9954 – Termes et définitions

Terme	Définition
RRCF	Trame de contrôle de demande de débit. Envoyée du récepteur à l'expéditeur pour effectuer un changement de PE.
RefAddr0	La SA dans l'en-tête Ethernet de la trame RRCF. C'est la DA du récepteur (pour le canal), toujours utilisée par l'expéditeur du canal comme première RefAddr traitée.
RefAddr1..RefAddr<n>	Autres adresses y compris les adresses de diffusion et multidiffusion pour lesquelles le récepteur indique les informations de débit à l'expéditeur. L'adresse de station du récepteur de canal (RefAddr0) ne devrait pas être mise dans la liste des RefAddr supplémentaires. NOTE – Au moins un champ RefAddr est nécessaire pour prendre en charge la négociation de débit pour les adresses en diffusion et en multidiffusion car elles ne peuvent pas être utilisées dans l'en-tête Ethernet.
Expéditeur	La station expéditrice pour un canal, habituellement la station possédant l'adresse MAC de source.
PE d'expéditeur	Le PR préféré associé à un canal, tel que noté par l'expéditeur.

10.4.3.1 Canaux

La négociation de débit est définie sur des canaux logiques simplex. Un canal séparé est défini pour chaque combinaison de 1) DA, SA, ou 2) DA, SA et priorité, ou 3) DA, SA et ID de flux Ethernet. Les différentes combinaisons représentent différents types de canal et sont désignés respectivement comme canaux simples, à priorité LARQ et de flux. Il n'y a pas de procédure d'établissement explicite de canal pour les canaux simples et à priorité LARQ. Un nouveau canal est implicitement défini lorsqu'un paquet est reçu d'une nouvelle SA ou envoyé à une nouvelle DA. Les canaux de flux sont établis par une signalisation de flux entre des appareils de source et de destination du canal. Pour des informations complémentaires sur le protocole de signalisation de flux, voir le § 10.17.

Chaque canal a un seul expéditeur mais peut avoir des **récepteurs** multiples. Les **récepteurs** fonctionnent de façon indépendante.

10.4.3.2 Envoi des RRCF

Les trames de contrôle de débit (toutes en OpCodes) devraient être envoyées avec une priorité correspondant à la priorité 7 de la couche Liaison. Les RRCF ne doivent jamais être envoyées avec une priorité de couche Liaison de 6. Les RRCF peuvent être envoyées avec une priorité inférieure de couche Liaison, de l'ensemble [5,4,3,0]. Cependant, la priorité de couche Liaison d'une RRCF ne doit jamais être inférieure à la plus élevée des priorités de couche Liaison reçues dans les deux dernières secondes d'une station à laquelle la RRCF est en cours d'envoi. Les demandes de changement de débit (OpCode = 0) doivent toujours être envoyées avec un codage de gabarit spectral n° 2, 2 Mbaud FDQAM à 2 bits par symbole (PE = 33) lorsque la source du canal est un appareil G.9954. Le gabarit spectral n° 1 à 2 Mbaud FDQAM à 2 bits par symbole (PE = 1) doit être utilisé lorsque l'appareil de source du canal est un appareil G.9954 fonctionnant en mode G.9951/2. Le choix du codage pour les trames de demande d'essai de débit et les trames de réponse d'essai de débit est décrit plus loin.

10.4.3.3 Temporisateur d'intervalle

Chaque station devrait entretenir un temporisateur d'une période de 128 secondes. On ne devrait pas tenter de synchroniser ce temporisateur entre les stations. Aucune réception ou émission de trame ne devrait modifier le temporisateur. Le temporisateur d'intervalle est utilisé pour déterminer les

nœuds qui ont été actifs dans l'envoi à des adresses multidiffusion et diffusion (voir le § 10.4.4.2) et lors de l'envoi des RRCF restantes en référence à des adresses multidiffusion et diffusion (voir le § 10.4.5.1).

10.4.4 Fonctionnement de l'expéditeur

10.4.4.1 Trames de données émises par l'expéditeur

Accéder aux informations d'état du canal logique pour déterminer le **PE d'expéditeur** à utiliser pour l'émission. Créer le canal si nécessaire, et régler le **PE d'expéditeur** à PE = 33 (Gabarit n° 2, 2 Mbaud 2 bits par symbole) si le nœud de destination est G.9954 ou PE = 1 (Gabarit n° 1, 2 bits par symbole, 2 Mbaud FDQAM) si le nœud de destination est G.9951/2. Les informations d'état de canal logique comportent le type de nœud (par exemple,, G.9951/2, G.9954 ou inconnu), le PE d'expéditeur et le PE de récepteur pour chaque bande pour laquelle cette information a été spécifiée.

Les transmissions aux nœuds G.9951/2 doivent être envoyées avec le codage de gabarit spectral n° 1.

10.4.4.2 Trames de changement de débit (RRCF OpCode 0) reçues par l'expéditeur

Pour chacune des RefAddr dans la RRCF (commençant par RefAddr0, la SA de la trame RRCF), accéder aux informations d'état du canal logique, s'il en existe, correspondant à la RefAddr et facultativement à la RefId (désignée par le tuplet (RefAddr, [RefId]), où les crochets indiquent un élément *facultatif*), et mettre à jour le PE d'expéditeur conformément à la spécification de bande dans la RRCF. S'il n'existe aucune information d'état de canal logique pour (RefAddr0, [RefId0]), la station devrait créer une nouvelle entrée d'état de canal logique et initialiser le PE d'expéditeur conformément à la spécification de bande dans la RRCF. S'il n'existe aucune information d'état de canal logique pour des (RefAddr, [RefId]) supplémentaires, la station peut ignorer ces adresses ou créer une nouvelle entrée d'état de canal logique et initialiser le PE d'expéditeur conformément à la spécification de bande dans la RRCF.

Pour les adresses en multidiffusion et les adresses en diffusion, les expéditeurs devraient utiliser un débit et un gabarit spectral recevable par tous les nœuds qui écoutent activement sur cette adresse. Les stations expéditrices peuvent appliquer un PE minimal qu'elles vont utiliser pour transmettre sur un canal multidiffusion donné, fondé sur les informations de niveau d'application sur la qualité de service. Il est souhaitable d'émettre au plus fort débit accepté par le canal. Et donc, si une RefAddr est une adresse multidiffusion ou l'adresse de diffusion, l'expéditeur devrait utiliser la valeur de PE qui couvre le plus fort débit binaire brut, mais qui n'est pas plus élevé qu'aucune des spécifications de bande fournies par les nœuds qui écoutent activement sur cette adresse. Les auditeurs multidiffusion actifs doivent être définis comme toute station qui a, dans un des deux derniers intervalles de 128 secondes:

1) soit envoyé une trame à l'adresse de multidiffusion;
2) soit envoyé une trame RCCF à cette station avec l'adresse multidiffusion dans la liste de RefAddr.

Les auditeurs de diffusion actifs doivent être définis comme toute station qui a, dans un des deux intervalles de 128 secondes:

1) soit envoyé une trame à l'adresse de diffusion;
2) soit envoyé une trame RRCF à cette station avec l'adresse de diffusion dans la liste RefAddr.

Dans un réseau contrôlé par maître, l'expéditeur (c'est-à-dire la station à la source du canal logique) doit mettre au courant le maître du changement du PE négocié sur un canal de flux. Le maître doit recevoir notification du changement du paramètre PE du flux par l'envoi d'une demande de modification de flux avec le nouveau PE pour chaque flux identifié dans le message RRCF.

Ce protocole est illustré à la Figure 10-2.

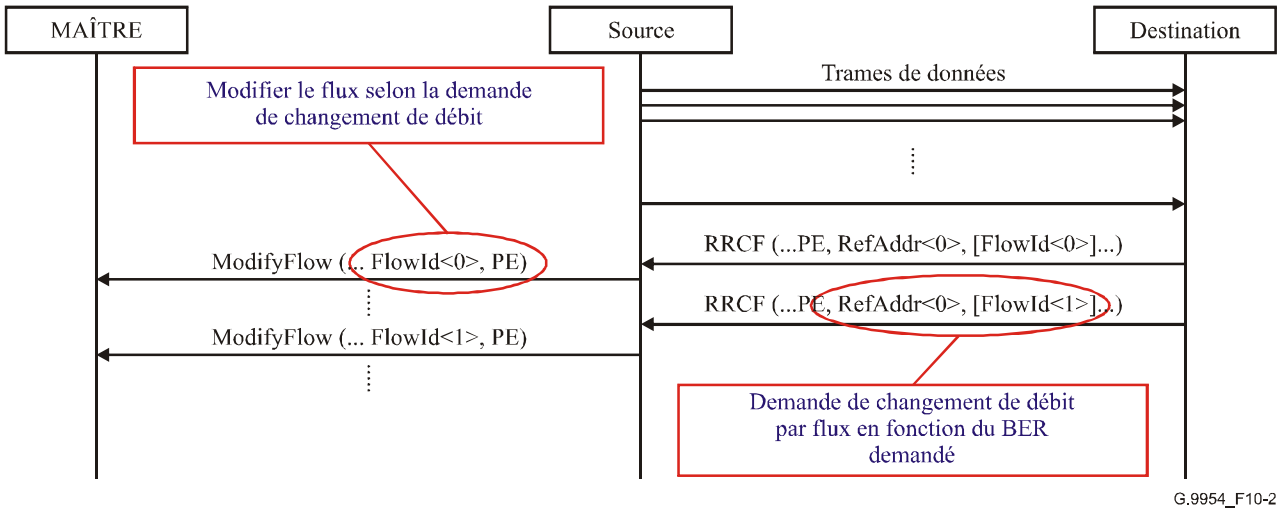

Figure 10-2/G.9954 – Protocole de négociation de débit

10.4.4.3 Trame de demande d'essai de débit (RRCF OpCode 1) reçue par l'expéditeur

Pour chaque codage de bande pris en charge, générer une trame de réponse à essai de débit (RRCF OpCode 2) au demandeur codée en utilisant le codage de charge utile spécifié. Le contenu de la trame RRCF doit être les informations d'état du canal logique en cours.

La prise en charge des trames de demande d'essai de débit n'est exigée que de toutes les stations G.9954.

10.4.4.4 Expéditeur – Nœuds PNT actifs

Un nœud PNT actif est toute station de laquelle a été reçue une trame dans l'un des deux derniers intervalles de 128 secondes.

10.4.5 Fonctionnement du récepteur

10.4.5.1 Récepteur – Réception d'une trame

On devrait utiliser l'algorithme de base suivant pour limiter le nombre de trames RRCF. D'autres implémentations ne doivent pas générer plus de trames RRCF que l'implémentation suggérée. Les nœuds qui sont intéressés à la réception de trames d'adresse en multidiffusion spécifiques ou de l'adresse de diffusion doivent fournir un mécanisme garantissant que toutes les sources des trames envoyées à l'adresse de multidiffusion (ou selon le cas, à l'adresse de diffusion) se souviennent du désir du nœud de recevoir les trames dirigées sur cette adresse au moins une fois toutes les 128 secondes (voir le paragraphe 10.4.4.2).

Pour chaque canal, maintenir une limite d'attente de contrôle de débit (RCBL, *rate control backoff limit*) qui ait une valeur dans la gamme de 1 à 1024, un compte de trame d'attente de contrôle de débit (RCBFC, *rate control backoff trame count*) et un PE de récepteur (receiver_PE) pour chaque bande prise en charge. (seul receiver_PE est mis en place par le nombre de bandes prises en charge. RCBL et RCBFC sont par canal). RCBL est initialisé à 1, et RCBFC est initialisé à 0. Receiver_PE doit être initialisé à 0 pour la bande 2. Aucune autre restriction n'est nécessaire sur l'initialisation de PE de récepteur. Si une trame d'intégrité de liaison est reçue avec PE = 1, aucune RRCF ne doit être transmise (voir Intégrité de liaison, § 10.5).

Pour chaque trame reçue, calculer le nouveau PE souhaité pour le canal (new_pe) pour chaque bande. Voir le paragraphe 10.4.5.1.1 pour un exemple d'algorithme de choix du PE souhaité pour une bande. Si le nouveau PE souhaité est différent de la valeur précédente de PE souhaité pour toute

bande prise en charge, remettre alors RCBL à 1, et remettre RCBFC à 0. Sauvegarder la nouvelle valeur pour le PE souhaité (new_pe) par bande, ainsi que receiver_PE. Si le PE de la trame reçue est différent du nouveau PE souhaité, incrémenter alors RCBFC de 1. Si RCBFC est alors supérieur ou égal à RCBL, envoyer alors une trame RRCF à la source de la trame, avec band1_PE réglé à receiver_PE pour Band1, et band2_PE réglé à receiver_PE pour band2, remettre RCBFC à 0, et doubler RCBL jusqu'à un maximum de 1024. Si un canal de multidiffusion ou de diffusion est actif (sur la base de la réception de trames autres que des RRCF dans les deux derniers intervalles de 128 secondes), et que 128 secondes se sont écoulées depuis que le récepteur a envoyé une trame à cette adresse en multidiffusion ou diffusion, transmettre une RRCF avec le PE de récepteur en cours à tous les nœuds qui ont envoyé des trames à cette adresse en multidiffusion ou diffusion, avec une RefAddr réglée à l'adresse en multidiffusion ou diffusion en question. Les adresses en multidiffusion multiples peuvent être agrégées en une seule RRCF envoyée à un nœud qui a été actif sur des adresses en multidiffusion multiples. Cependant, seules les adresses pour lesquelles le récepteur prévu de la trame RRCF a été actif devraient être incluses.

Dans les RRCF, les stations demandeuses devraient essayer de spécifier le codage de charge utile maximum dont elles pensent qu'il aura un taux d'erreurs acceptable, afin de maximiser le débit agrégé du réseau.

Au minimum, la bande à 2 MBaud doit toujours être spécifiée dans une RRCF.

10.4.5.1.1 Exemple d'algorithme de choix de codage de charge utile

Le présent paragraphe décrit un exemple d'algorithme convenable à utiliser par les appareils qui implémentent une seule bande (Band1) sur les réseaux avec ajout de bruit blanc et de bruit impulsif. D'autres algorithmes qui pourraient avoir une meilleure optimisation du codage de charge utile sur la base des conditions de canal mesurées sont possibles.

Pour chaque implémentation, calculer un tableau d'erreur quadratique moyenne de dispositif de reformation des octets (ASMSE, *average slicer mean squared error*) nécessaire pour chaque codage de charge utile (sauf PE = 8) pour obtenir un taux d'erreur de paquet (PER) de 1e-3. Définir ce tableau sous le nom de DOWN_LARQ. Calculer un second tableau avec un PER de 1e-6. Définir ce tableau comme DOWN_NOLARQ. Définir UP_LARQ comme DOWN_LARQ avec toutes les valeurs d'ASMSE diminuées de 2 dB et UP_NOLARQ comme DOWN_NOLARQ avec toutes les valeurs d'ASMSE diminuées de 2 dB.

Les étapes suivantes décrivent comment choisir le nouveau codage de charge utile souhaité pour un canal particulier, (new_pe), étant donné le codage de charge utile souhaité sur ce canal, (curr_pe), et qu'une nouvelle trame est reçue sur ce canal:

1) conserver une fenêtre d'historique de 16 trames G.9951/2 par canal. Pour chaque canal, calculer l'ASMSE sur toutes les trames de la fenêtre d'historique qui n'avaient pas d'erreur de CRC;

2) si on est en mode V1M2, vérifier s'il existe ou non suffisamment de marge dans le système pour permettre une détection appropriée des trames de compatibilité canal par canal. Si, pour tout canal donné, il est déterminé qu'une telle marge n'existe pas, régler alors new_pe = 8 pour ce canal. S'il est déterminé qu'une telle marge existe et que curr_pe = 8, régler new_pe = 1. S'il est déterminé qu'une telle marge existe et que curr_pe ≠ 8, régler new_pe = curr_pe. Si cette station ne prend pas en charge la réception des trames de format de compatibilité, régler alors new_pe = 8. Si new_pe = 8 ou curr_pe = 8, terminer le programme. Autrement:

3) si toutes les trames dans la fenêtre d'historique ont été reçues avec une erreur de CRC, régler new_pe = 1 et sortir. Autrement:

4) si LARQ est utilisé sur un canal, trouver le plus grand codage de charge utile dans le tableau UP_LARQ ayant une ASMSE supérieure ou égale à l'ASMSE calculée à l'étape 1. Si LARQ n'est pas utilisé, se servir du tableau UP_NOLARQ. Définir ce codage de charge utile comme new_up_pe;

5) si LARQ est utilisé sur ce canal, trouver le plus grand codage de charge utile dans le tableau DOWN_LARQ ayant une ASMSE supérieure ou égale à l'ASMSE calculée à l'étape 1. Si LARQ n'est pas utilisé, se servir du tableau DOWN_NOLARQ. Définir ce codage de charge utile comme new_down_pe;

6) si new_up_pe > curr_pe, régler new_pe = new_up_pe et sortir. Autrement:

7) si new_down_pe < curr_pe, régler new_pe = new_down_pe et sortir. Autrement:

8) si ni 6 ni 7 ne sont satisfaits, régler new_pe = curr_pe.

NOTE 1 – Le décalage entre les tableaux de choix de débit montant et descendant fournit l'algorithme avec hystérèse qui donne de la stabilité dans le choix d'un codage de charge utile en présence de variations mineures d'erreur ASMSE. Du fait de ce décalage, les conditions 6 et 7 ne peuvent être toutes deux satisfaites simultanément.

NOTE 2 – La combinaison de la fenêtre historique de 16 trames avec l'hystérèse choisie empêche l'algorithme de choix de débit de générer un nombre excessif de changements de débit tout en restant réceptif à des changements significatifs des conditions du canal.

NOTE 3 – L'algorithme de sélection pour la valeur PE = 8 à l'étape 2 devrait aussi inclure l'hystérèse pour éviter de générer un nombre excessif de changements de débit tout en restant réceptif à des changements significatifs des conditions du canal.

10.4.5.2 Trame de demande d'essai de débit (RRCF OpCode 1) – Envoi par le récepteur

Périodiquement, mais à un taux qui ne doit pas dépasser une fois toutes les 128 secondes (excepté comme décrit ci-dessus), un récepteur peut envoyer une trame Demande d'essai de débit à un expéditeur pour vérifier si le canal peut accepter une bande différente. Les codages de bande représentent les codages pour lesquels le récepteur aimerait générer des trames d'essai. NumAddr doit être mis à 0 dans les trames Demande d'essai de débit.

Les trames Demande d'essai de débit devraient être envoyées codées au débit négocié en cours du récepteur à l'expéditeur.

La prise en charge des trames de demande d'essai de débit est exigée de toutes les stations.

10.4.5.3 Trame de réponse à essai de débit (RRCF OpCode 2) reçue au récepteur

A réception d'une trame de réponse à essai de débit, le récepteur devrait utiliser les statistiques de démodulation de cette trame, et toutes les trames de réponse à essai de débit utilisant ce codage reçues précédemment pour prendre une décision sur la capacité du canal à prendre en charge le codage de bande à l'essai. Si la décision est que le canal n'est pas capable d'accepter le codage de bande à l'essai, le récepteur ne doit pas générer une autre trame de demande d'essai de débit pendant au moins 128 secondes. Si la décision est que le canal est capable d'accepter le codage de bande à l'essai, le récepteur peut répéter l'essai pour collecter plus de données, à un débit maximal d'une trame de demande d'essai de débit par seconde, avec un maximum de 16 essais supplémentaires. A ce point, le récepteur devrait générer une demande de changement de débit vers l'expéditeur pour spécifier le nouveau codage de bande.

La prise en charge des trames de réponse à essai de débit n'est exigée que des stations qui implémentent des bandes supplémentaires au-delà de la Band1. Les stations qui n'implémentent que la Band1 peuvent supprimer directement les trames de réponse à essai de débit reçues.

10.5 Fonction d'intégrité de liaison

L'objet de la fonction d'intégrité de liaison est la fourniture, pour le matériel et/ou le logiciel, d'un moyen de déterminer si une station est capable ou non de recevoir des trames d'au moins une autre station du réseau. En l'absence d'autre trafic, une station transmet périodiquement une trame de contrôle d'intégrité de liaison (LICF, *link integrity control frame*) à l'adresse MAC de diffusion, l'intervalle entre de telles transmissions étant régi par la méthode décrite ci-dessous.

Toutes les stations doivent implémenter la fonction suivante pour s'assurer que, avec une probabilité élevée, dans tout intervalle d'une seconde il y a soit:

1) au moins une LICF envoyées à l'adresse MAC de diffusion à partir de cette station; soit
2) au moins un paquet adressé à l'adresse MAC de diffusion qui est reçue de chacune d'au moins deux autres stations.

De plus, toutes les stations doivent envoyer au moins une LICF toutes les 64 secondes.

La méthode est décrite ci-dessous:

- les stations DEVRAIENT prendre en charge la génération de la trame LI existante même en mode inactif ou sommeil. Lorsqu'elle est en mode sommeil ou inactif, les stations PNT qui ne veulent ou ne peuvent pas être éveillées NE DEVRAIENT PAS envoyer de trames LI;
- un paquet de liaison peut être toute trame en diffusion reçue avec une séquence FCS d'en-tête valide. Seules les trames LICF devraient être traitées comme des paquets de liaison;
- chaque station entretient un temporisateur libre avec une période de 1 seconde. Les stations ne devraient pas tenter de synchroniser ce temporisateur entre elles. Le temporisateur ne devrait être modifié par aucune transition d'état de liaison ni par la réception d'aucune trame. Ce temporisateur est la source de l'événement de fin de temporisation utilisé dans le tableau d'état d'intégrité de liaison au Tableau 10-9;
- chaque station entretient un compteur FORCE_SEND de 6 bits qui est initialisé à une valeur aléatoire comprise entre 30 et 63. Cette valeur d'initialisation peut être choisie au démarrage d'un nœud et utilisée pour chaque réinitialisation du compteur FORCE_SEND, ou à une nouvelle valeur aléatoire choisie à chaque réinitialisation du compteur FORCE_SEND;
- chaque station a un registre (SA1) qui peut être établi à partir de la SA d'un paquet de liaison reçu;
- une trame LICF devrait être envoyée avec une priorité correspondant à la priorité 7 de couche Liaison dans un réseau non géré et comme un flux 0 dans un réseau géré;
- le codage PE pour une trame LICF doit être déterminé en accédant aux informations de canal logique de trame RRCF pour le canal de diffusion. Une exception à ce critère est le cas où les trames LI ne sont pas envoyées avec la valeur du codage PE de diffusion en cours de négociation, et elles DOIVENT alors être envoyées avec PE = 1. Cela permet, par exemple, aux terminaux en mode sommeil ou inactif de conserver un état actif sur le réseau. La réception d'une trame LI avec PE = 1 NE DOIT PAS causer une transmission d'une trame RRCF, de la part d'aucun terminal;
- lorsqu'il est en mode sommeil ou inactif, le terminal DEVRAIT effectuer un traitement d'intégrité de liaison et de réveil sur tout paquet reçu. Aucun autre traitement des paquets reçus n'est nécessaire. Le traitement pertinent de gestion de puissance doit être fait sur les trames de données LARQ et non-LARQ et il est entendu que les trames non-WoLAN devraient être ignorées;

- chaque station doit envoyer une trame de contrôle d'intégrité de liaison (LICF, *link integrity control frame*) au format indiqué au Tableau 10-10, conformément au tableau d'état du Tableau 10-9.

La Figure 10-3 donne une vue descriptive des transitions d'état, avec quelques pertes de détails mineurs, y compris l'omission d'événements qui ne causent pas de transition d'état (et n'ont pas d'actions associées), et la fusion de plusieurs événements en une seule transition avec une description plus complexe de cette action.

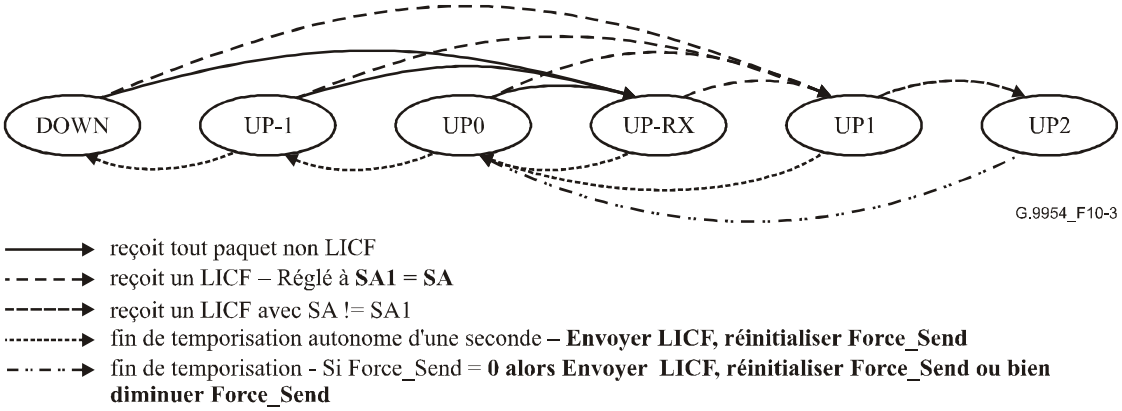

Figure 10-3/G.9954 – Diagramme d'état d'intégrité de liaison

Le Tableau 10-9 est un tableau d'état complet, avec les actions associées. L'événement fin de temporisation est l'expiration périodique d'un temporisateur libre d'une seconde.

Etat initial: DOWN, Force_Send initialisé à: 30 ≤ Force_Send ≤ 63

Tableau 10-9/G.9954 – Machine à états finis (FSM) d'intégrité de liaison

	DOWN	UP-1	UP0	UP-RX	UP1	UP2
Recevoir toute non-LICF	UP-RX	UP-RX	UP-RX	UP-RX	UP1	UP2
	(aucune)	(aucune)	(aucune)	(aucune)	(aucune)	(aucune)
Recevoir LICF avec SA == SA1	UP1	UP1	UP1	UP1	UP1	UP2
	Mettre SA1 ← SA	Mettre SA1 ← SA	Mettre SA1 ← SA	Mettre SA1 ← SA	(aucune)	(aucune)
Recevoir LICF avec SA != SA1	UP1	UP1	UP1	UP1	Native: UP2 Compat: UP1	UP2
	Mettre SA1 ← SA	Mettre SA1 ← SA	Mettre SA1 ← SA	Mettre SA1 ← SA	(aucune)	(aucune)
Fin de temp. et Force_Send == 0	DOWN	DOWN	UP-1	UP0	UP0	UP0
	Envoyer LICF[a)], réinitialiser Force_Send	Envoyer LICF[a)], réinitialiser Force_Send	Envoyer LICF[a)], réinitialiser Force_Send	Envoyer LICF, réinitialiser Force_Send	Envoyer LICF, réinitialiser Force_Send	Envoyer LICF, réinitialiser Force_Send
Fin de temp. et Force_Send > 0	DOWN	DOWN	UP-1	UP0	UP0	UP0
	Envoyer LICF[a)], réinitialiser Force_Send	Envoyer LICF[a)], réinitialiser Force_Send	Envoyer LICF[a)], réinitialiser Force_Send	Envoyer LICF, réinitialiser Force_Send	Envoyer LICF, réinitialiser Force_Send	Diminuer Force_Send

[a)] Les appareils qui peuvent émettre en utilisant plus d'une adresse de source MAC (par exemple, un pont) devraient envoyer une trame de demande CSA à l'adresse de diffusion au lieu d'envoyer une trame LICF pour les cas indiqués dans le tableau.

L'état d'intégrité de liaison doit être indiqué dans tout état sauf DOWN. Toutes les stations devraient inclure un indicateur d'état de liaison (LSI, *link status indicator*) (par exemple, un LED) pour indiquer l'état d'intégrité de liaison.

Tableau 10-10/G.9954 – Trame courte d'intégrité de liaison

Champ	Longueur	Signification
DA	6 octets	Adresse de destination = FF:FF:FF:FF:FF:FF
SA	6 octets	Adresse de source
Ethertype	2 octet	0x886c (trame de contrôle de liaison de PNT)
SSType	1 octet	= SUBTYPE_LINK (2)
SSLength	1 octet	Nombre d'octets additionnels dans l'en-tête de contrôle, commençant au champ SSVersion et se terminant avec le second (dernier) octet du champ Next Ethertype. Le minimum est 4 pour SSVersion 0.
SSVersion	1 octet	= 0
LI_pad	1 octet	Ignoré à réception
Next Ethertype	2 octets	= 0
Pad	40 octets	Octet de toute valeur
FCS	4 octets	
CRC-16	2 octets	Séquence de vérification de trame PNT

10.6 Annonce de capacité et d'état

Un mécanisme est défini pour la négociation à l'échelle du réseau, la découverte de capacités et les annonces d'état. Il se fonde sur des annonces diffusées périodiquement, appelées Annonces de capacités et d'état (CSA, *capabilities and status announcements*) envoyées dans des trames de contrôle CSA (CSACF). Les fanions d'état définis permettent la détermination de la version de PNT d'une station, la prise en charge de caractéristiques facultatives, et l'utilisation de la priorité de couche Liaison, ainsi que la communication des commandes de configuration du réseau.

L'objet du protocole est la distribution à toutes les stations de l'ensemble complet des fanions d'état utilisés sur le réseau, de sorte que les stations puissent prendre des décisions de fonctionnement sur la base de ces fanions sans interaction ultérieure.

Les stations doivent utiliser la trame de contrôle de CSA décrite au Tableau 10-11 et les définitions de fanion CSA données au Tableau 10-12.

Les stations doivent envoyer une trame de contrôle de CSA par minute ou lorsqu'un changement de l'état en cours de la station exige l'annonce de la création (ou suppression) de fanions.

Une station qui envoie une trame de contrôle de CSA annonçant un changement d'état doit envoyer une seconde copie de la trame CSACF la plus récente à un court intervalle de la première car il est toujours possible de perdre une trame du fait des changements temporaires dans le canal, le bruit impulsif, etc. L'intervalle devrait être choisi de façon aléatoire (et pas simplement fixé), dans la gamme de 1 à 1000 ms, inclus.

Les trames de contrôle de CSA sont envoyées avec une priorité correspondant à la priorité 7 de couche Liaison.

Les trames de contrôle de CSA sont toujours envoyées à l'adresse de diffusion (0xFFFFFFFFFFFF).

Pour une trame de contrôle de CSA, le codage PE doit être déterminé par l'accès aux informations de canal logique de trame RRCF pour le canal en diffusion.

Un op-code de demande est défini pour permettre à une station de rassembler rapidement des informations complètes sur toutes les stations. A réception d'une trame de contrôle de CSA ayant l'OpCode de demande, une station doit transmettre un message CSA en cours après un court intervalle de délai, en utilisant le même mécanisme (et les mêmes paramètres) que pour le retard de la seconde copie des annonces de CSA décrit ci-dessus.

10.6.1 Trame de contrôle de CSA

Le Tableau 10-11 définit le format de la trame de contrôle d'annonce de capacité et d'état. Les trois premiers champs au-delà de l'en-tête Ethernet comprennent l'en-tête standard pour les trames de contrôle de format court.

Tableau 10-11/G.9954 – Trame d'annonce de capacité et d'état

Champ	Longueur	Signification
DA	6 octets	Adresse de destination = FF:FF:FF:FF:FF:FF
SA	6 octets	Adresse de source, ne correspondant pas nécessairement à l'adresse MAC à laquelle le contenu de la trame est applicable (voir CSA_SA).
Ethertype	2 octets	0x886c (trame de contrôle de liaison PNT)
SSType	1 octet	= SUBTYPE_CSA (3)
SSLength	1 octet	Nombre d'octets supplémentaires dans l'en-tête de contrôle, commençant par le champ SSVersion et se terminant par le second (dernier) octet du champ Next Ethertype. Le minimum est 32 pour SSVersion 0
SSVersion	1 octet	= 0
CSA_ID_Space	1 octet	Identifie l'espace d'enregistrement de CSA_MFR_ID 0 Non spécifié 1 JEDEC 2 PCI
CSA_MFR_ID	2 octets	ID de fabricant de matériel: identifie le fabricant de la puce du contrôleur de couche PHY. Ce champ plus le numéro de série et de révision identifie les implémentations spécifiques de la couche PHY. Ce n'est pas un identifiant de niveau organisationnel.
CSA_Part_No	2 octets	Numéro de série du fabricant du matériel: numéro de série de la puce du contrôleur de couche PHY.
CSA_Rev	1 octet	Révision du matériel
CSA_Opcode	1 octet	0 Annonce 1 Demande
CSA_MTU	2 octets	Taille maximale en octets d'unité PDU de niveau liaison que ce récepteur accepte. La valeur par défaut est de 1526 octets. 1526 est la valeur minimale qui doit être publiée par une station PNT.
CSA_SA	6 octets	Adresse MAC de la station à laquelle les capacités et l'état sont applicables.

Tableau 10-11/G.9954 – Trame d'annonce de capacité et d'état

Champ	Longueur	Signification
CSA_device_id	1 octet	ID d'appareil alloué (par le maître) durant l'enregistrement, il est rapporté à l'appareil PNT avec l'adresse MAC identifiée dans le champ SA. Une valeur de NULL_ID indique que l'appareil n'est pas enregistré auprès du maître. NOTE – Plus d'un champ d'une station (identifiée par le CSA_SA) peut avoir le même CSA_device_id.
CSA_pad	1 octet	Réservé pour la version 0. Doit être envoyé avec 0, ignorer à réception. Crée un alignement du champ sur des limites de mots de 32 bits.
CSA_CurrentTxSet	4 octets	Fanions de configuration, plus l'état d'utilisation en cours pour cette station. Les définitions de fanion sont spécifiées au Tableau 10-12.
CSA_OldestTxSet	4 octets	Une copie des "plus vieux" fanions d'émission pour cette station, depuis la période se terminant au moins une période (minute) plus tôt. Les définitions de fanion sont spécifiées à la Figure 10-12.
CSA_CurrentRxSet	4 octets	Réunion des fanions récents reçus des autres stations. Les définitions de fanion sont spécifiées au Tableau 10-12.
Next Ethertype	2 octets	= 0
Pad		Bourrage pour atteindre la taille minFrameSize si nécessaire.
FCS	4 octets	
CRC-16	2 octets	Séquence de vérification de trame PNT

10.6.2 Fanions d'état, de configuration, d'option et de priorité

Les fanions du Tableau 10-12 doivent être utilisés pour CSA_CurrentTxSet, CSA_OldestTxSet, et CSA_CurrentRxSet dans les trames de contrôle d'annonces de capacités de d'état.

Tableau 10-12/G.9954 – Ensemble des fanions de CSA

Octet	Champ	Longueur	Description
Flags0	TxPriority7	1	La station émet (émettait) des trames à la priorité de LL 7 (toujours établie).
	TxPriority6	1	La station émet (émettait) des trames à la priorité de LL 6.
	TxPriority5	1	La station émet (émettait) des trames à la priorité de LL 5.
	TxPriority4	1	La station émet (émettait) des trames à la priorité de LL 4.
	TxPriority3	1	La station émet (émettait) des trames à la priorité de LL 3.
	TxPriority2	1	La station émet (émettait) des trames à la priorité de LL 2.
	TxPriority1	1	La station émet (émettait) des trames à la priorité de LL 1.
	TxPriority0	1	La station émet (émettait) des trames à la priorité de LL 0 (toujours établie).
Flags1	Réservé	2	Doit être envoyé avec 0 et ignoré par les stations à réception

Tableau 10-12/G.9954 – Ensemble des fanions de CSA

Octet	Champ	Longueur	Description
	Plus haut n° de gabarit accepté	2	Plus haut numéro de gabarit accepté par l'émetteur. La prise en charge du gabarit N suppose la prise en charge complète de tous les débits de symboles du gabarit N – 1. 0 Gabarit n° 1 1 Gabarit n° 2 2 Gabarit n° 3
	Accepte la mise en rafale de trame	1	Cette station accepte la mise en rafale de trame
	Accepte les courtes informations de contrôle	1	Cette station accepte la réception de courtes informations de contrôle dans le format de rafale de trame (d'agrégation).
	Réservé	1	Réservé pour utilisation ordinaire
	Réservé	1	Réservé pour utilisation ordinaire
Flags2	Limite de paquet de rafale de trame	3	0 Pas de limite (en fait limité par la taille maximale de trame de niveau liaison dans le PE le plus élevé) 1 Cette station accepte une longueur de rafale allant jusqu'à 16 trames 2 Cette station accepte une longueur de rafale allant jusqu'à 32 trames 3 Cette station accepte une longueur de rafale allant jusqu'à 64 trames 4 Cette station accepte une longueur de rafale allant jusqu'à 128 trames 5 Cette station accepte une longueur de rafale allant jusqu'à 256 trames
	Limite de taille de rafale de trame	3	0 Pas de limite (en fait limité par la taille maximale de trame de niveau liaison dans le PE le plus élevé) 1 Cette station accepte une longueur de rafale allant jusqu'à 8 koctets 2 Cette station accepte une longueur de rafale allant jusqu'à 16 koctets 3 Cette station accepte une longueur de rafale allant jusqu'à 32 koctets 4 Cette station accepte une longueur de rafale allant jusqu'à 64 koctets 5 Cette station accepte une longueur de rafale allant jusqu'à 80 koctets Pour les besoins de la limitation de taille de rafale, une rafale se compose de toute la trame de couche Liaison (c'est-à-dire toute la trame excepté le préambule de couche Physique, le contrôle de trame, le bourrage et la EOF). Pour d'autres informations sur la mise en rafale et l'agrégation de trame, voir le § 10.13.

Tableau 10-12/G.9954 – Ensemble des fanions de CSA

Octet	Champ	Longueur	Description
	Mode de synchronisation	1	Cette station fonctionne en mode MAC synchrone et est actuellement synchronisée avec le cycle MAC du maître. 0 La station ne fonctionne PAS en mode MAC synchrone 1 La station fonctionne en mode MAC synchrone.
	Réservé	1	Doit être envoyé avec 0 et ignoré par les stations à réception
Flags3	ConfigG.9951/2	1	Force l'utilisation du mode G.9951/2
	ConfigV1M2	1	Réservé pour utilisation ordinaire
	ConfigV1	1	Réservé pour utilisation ordinaire
	ConfigG.9954	1	Force l'utilisation du mode G.9954, suspend ConfigG.9951/2.
	Réservé	1	Doit être envoyé avec 0 et ignoré par les stations à réception
	Version la plus élevée	3	Version PNT la plus élevée prise en charge par cette station: 0x000 Réservé 0x001 Réservé pour utilisation ordinaire 0x010 G.9951/2 0x011 G.9954 0x0100 à 0x111 Réservé

Des fanions de trente deux bits doivent être pris en charge pour les annonces d'état et les informations de configuration. Les fanions se divisent en trois groupes de base: fanions de choix de mode, y compris les informations de version de PNT, options acceptées, et annonces de priorité de couche Liaison en émission utilisée. Ces fanions doivent être ajoutés à l'état global aussitôt qu'annoncés, et retirés lorsqu'ils ne sont plus annoncés par aucune station, ni par suppression explicite ni par fin de temporisation. Une priorité de couche Liaison utilisée en émission doit être annoncée pendant une période de deux minutes après la dernière trame envoyée avec cette priorité, jusqu'à ce que le mécanisme de péremption ne cause sa suppression de CurrentTxSet.

L'**ensemble par défaut** des fanions d'état, utilisé pour initialiser le **NewTxSet** (défini plus loin), est défini par les priorités 0 et 7, la version PNT de la station, et toute option prise en charge.

10.6.3 Termes et paramètres

10.6.3.1 Période de capacités et d'état (CS period)

L'intervalle de temps de base utilisé pour périmer les informations d'état non persistantes doit être de une minute. Chaque station a un temporisateur répétitif réglé à cet intervalle. Les temporisateurs des différentes stations ne sont pas synchronisés, et la synchronisation devrait être en général évitée. La description ci-dessous se réfère au temps entre une expiration de ce temporisateur et la suite comme à une "période". La période "en cours" se réfère au temps écoulé depuis la plus récente arrivée à expiration du temporisateur.

Une trame CSA doit être envoyée à la fin de chaque intervalle.

10.6.3.2 Variables, etc.

– DeleteSet: valeur calculée utilisée pour détecter les informations d'état nouvellement retirées.

– NewRxFlags, ReallyNewRxFlags: valeurs calculées utilisées pour détecter les nouveaux fanions d'état.

10.6.3.3 Temporisateurs

– CSP_Timer: temporisateur autonome d'une période de 60 secondes.

– RetransmitTimer: temporisateur à un seul coup, réglé à un intervalle aléatoire dans la gamme de 1 ms à 1000 ms, inclus, après l'envoi d'une CSA dans laquelle CSA_CurrentTxSet et CSA_OldestTxSet sont différentes, ou lorsqu'une CSA est reçue avec le CSA_Opcode réglé à 1 (Request). Ce temporisateur est annulé si une seconde CSA est envoyée suite à l'expiration du CSP_Timer.

10.6.4 Variables d'état d'ensemble d'état et de priorité

Chaque station maintient cinq ensembles de base d'informations d'état et de priorité. De plus, trois ensembles composites supplémentaires sont définis comme union de deux ensembles de base ou plus. (Voir le Tableau 10-13.)

Tableau 10-13/G.9954 – Variables d'état d'ensemble

NewTxSet	Ensemble de fanions annoncé durant la période CS en cours, mis à jour immédiatement lorsqu'une nouvelle priorité de couche Liaison est utilisée ou qu'un nouvel état volatile est établi. Lorsque CSP_Timer arrive à expiration, CurrentTxSet reçoit la valeur de NewTxSet, et NewTxSet est remis au réglage par défaut.
PreviousTxSet	Ensemble des fanions qui ont été annoncés durant la période CS précédente (la valeur terminale de NewTxSet venant de la période CS précédente).
OldestTxSet	Ensemble des fanions déroulés depuis le PreviousTxSet jusqu'à la fin de la période CS précédente (la valeur de PreviousTxSet depuis la période CS précédente). Les fanions qui sont présents dans OldestTxSet et manquants depuis PreviousTxSet n'étaient pas activement utilisés ou détectés (par l'expéditeur) pendant toute une période CS, et seront supprimés. Cet ensemble est envoyé dans les trames CSA comme CSA_OldestTxSet.
NewRxSet	Union de tous les fanions CSA_CurrentTxSet reçus dans les CSA depuis d'autres stations durant la période CS en cours. Elle est retournée dans PreviousRxSet à l'expiration du CSP_Timer, puis remise à l'ensemble vide (0). Un fanion d'état volatile (un des fanions de priorité) dans cet ensemble peut ensuite être supprimé si la seule station qui annonçait précédemment ce fanion cesse de l'utiliser. La suppression de cette station dans le CurrentTxSet est notée par la différence avec son OldestTxSet. Le fait que c'était le seul expéditeur est noté par l'absence du fanion dans le CurrentRxSet de cette station, qui indique qu'il n'a reçu le fanion d'aucune autre station. S'il est supprimé de NewRxSet, un fanion doit aussi être supprimé de PreviousRxSet.
PreviousRxSet	Ensemble des fanions annoncés reçus durant la période CS précédente (la valeur terminale de NewRxSet de la période CS précédente). Un fanion peut être supprimé de cet ensemble, comme décrit sous NewRxSet plus haut.
CurrentTxSet	Ensemble de fanions qui ont été annoncés durant la période CS précédente plus tout nouveau fanion d'état et de priorité (ou fanions de changement de configuration/options) utilisé durant la période CS en cours, c'est-à-dire l'union de PreviousTxSet et NewTxSet. Cet ensemble est envoyé dans les trames CSA comme CSA_CurrentTxSet.
CurrentRxSet	Union de NewRxSet et de PreviousRxSet. Cet ensemble est envoyé dans les trames CSA comme CSA_CurrentRxSet.
CurrentInUseSet	Union de CurrentTxSet et CurrentRxSet. Cet ensemble est utilisé pour déterminer le mode de fonctionnement de la station et modifier le mappage entre la priorité LL de la trame et l'utilisation de priorité de couche PHY réelle.

10.6.5 Fonctionnement du protocole d'annonces de capacités et d'état

10.6.5.1 Nouvelle trame d'émission – Détection de priorité

Le protocole CSA ne traite pas directement les trames d'émission. Lorsque le protocole LARQ est utilisé, la CSA regarde la **priorité LL** de la trame comme elle serait normalement envoyée au pilote.

1) Si la **priorité LL** n'est pas déjà dans NewTxSet, l'ajouter à NewTxSet.

2) Si la **priorité LL** n'est pas déjà dans NewTxSet et n'est pas dans PreviousTxSet, envoyer alors une nouvelle trame de contrôle CSA avec le CSA_Opcode réglé à 0 (Annonce), et lancer le temporisateur RetransmitTimer. Si le temporisateur tourne déjà, l'annuler et le relancer. Mettre à jour la fonction de mappage de priorité de couche PHY en cours pour le pilote.

10.6.5.2 Trame de contrôle CSA reçue

Le récepteur peut vouloir conserver une copie de certaines ou de toutes les CSA les plus récentes de chaque autre station comme un simple moyen de suivre les capacités et états des autres stations.

1) Enregistrer (facultativement) les fanions d'état et d'options à partir du CSA_CurrentTxSet dans un tableau indexé par les adresses CSA_SA. Les fanions d'options sont utilisés pour choisir l'utilisation des fonctions facultatives entre paires de stations qui implémentent les mêmes options.

2) Si le CSA_Opcode dans la trame est 1 (Demande), lancer alors le RetransmitTimer. Si le temporisateur tourne déjà, on devrait le laisser tourner, bien que ce ne soit pas une exigence et l'annulation suivi de relance est admise.

3) Si CSA_CurrentTxSet a un fanion qui n'est pas déjà dans NewRxSet, ajouter alors le fanion à NewRxSet, et vérifier si ce fanion n'est pas présent dans le PreviousRxSet. Les expressions booléennes correspondantes sont comme suit:

   NewRxFlags = (CSA_CurrentTxSet & ~NewRxSet)

   NewRxSet |= NewRxFlags

   ReallyNewFlags = NewRxFlags & ~(PreviousRxSet | CurrentRxSet)

4) Comparer CSA_OldestTxSet et CSA_CurrentTxSet. Si un fanion a été supprimé, et si ce fanion manque aussi dans CSA_CurrentRxSet, supprimer alors le fanion de NewRxSet et de PreviousRxSet. Les expressions booléennes correspondantes sont comme suit:

   DeleteSet = (CSA_OldestTxSet & ~CSA_CurrentTxSet) & ~CSA_CurrentRxSet

   NewRxSet = NewRxSet & ~DeleteSet

   PreviousRxSet = PreviousRxSet & ~DeleteSet

   CurrentRxSet = NewRxSet | PreviousRxSet

5) Si ReallyNewFlags ou DeleteSet est différent de zéro, mettre à jour le mode du réseau et le mappage de priorité, en tant que de besoin.

10.6.5.3 Expiration de CSP_Timer

Lorsque survient l'expiration d'un CSP_Timer, une nouvelle période CS a commencé. Dérouler les divers ensembles d'état, recalculer les ensembles composites, et envoyer une CSA. Etablir le RetransmitTimer, si nécessaire.

1) OldInUseSet = CurrentInUseSet.

2) Passer NewRxSet en PreviousRxSet.

3) Régler NewRxSet à 0 (ensemble vide).

4) Passer PreviousTxSet en OldestTxSet.

5) Passer NewTxSet en PreviousTxSet.

6) Régler NewTxSet à l'ensemble par défaut, consistant en la version acceptée la plus élevée de cette station, les fanions de configuration en cours s'il en est (normalement aucun), les options acceptées en cours, et le réglage de priorité par défaut {0,7}.

7) Mettre à jour CurrentTxSet, CurrentRxSet, et CurrentInUseSet (au moins logiquement, une implémentation n'a pas besoin de garder des copies distinctes de ces valeurs).

   CurrentRxSet = NewRxSet | PreviousRxSet.

   CurrentTxSet = NewTxSet | PreviousTxSet.

   CurrentInUseSet = CurrentRxSet | CurrentTxSet.

8) Envoyer une trame CSA avec le CSA_Opcode réglé à 0 (Annonce), incluant les fanions mis à jour.

9) Si CSA_CurrentTxSet et CSA_OldestTxSet dans la trame CSA qui vient d'être envoyée étaient différents, lancer le RetransmitTimer. Si le temporisateur courrait déjà, l'annuler et le relancer.

10) Si un ou plusieurs fanions ont été supprimés, recalculer alors le mode de fonctionnement du réseau et/ou la fonction de mappage de priorité du fait du changement des fanions d'état. Le recalcul de mode/mappage devrait être effectué si CurrentInUseSet n'est pas égal à OldInUseSet.

10.6.5.4 Expiration de RetransmitTimer

Si RetransmitTimer arrive à expiration, envoyer une trame CSA en cours pour cette station avec le CSA_Opcode réglé à 0 (Annonce). Le temporisateur ne doit pas être relancé.

10.6.6 Choix du mode de réseau fondé sur CurrentInUseSet

Les fanions de choix du mode dans le protocole CSA (configG.9951/2, configG.9954) sont destinés à être utilisés par des entités de couche supérieure qui prennent des décisions de commutation de mode, telles que des interfaces d'utilisateur ou des fonctions de contrôle d'organes d'essai.

10.6.7 Priorités

Il y a un coût pour la bande passante maximale légèrement inférieure qu'on peut atteindre associée avec les priorités inférieures de couche PHY dans le protocole MAC de PNT si on utilise un schéma de mappage par défaut de priorité de couche Liaison à priorité de couche PHY. Ce coût devient particulièrement lourd lorsque seul du trafic à priorité inférieure est transporté sur le réseau. Le protocole CSA inclut donc des procédures pour remapper les priorités LL inférieures en priorités de couche PHY plus élevées lorsque aucune station sur le réseau n'envoie de trafic marqué pour ces priorités supérieures.

Le choix de la priorité de couche Physique (PHY) pour une trame donnée se fonde sur sa priorité allouée de couche de Liaison (LL). Le mappage par défaut de priorité LL à priorité PHY est spécifié au § 10.6.7.3. La priorité LL d'une trame chez l'expéditeur doit être convoyée à la station réceptrice afin de permettre une récupération appropriée du protocole de couche Liaison chez le récepteur. Ceci exige soit un mappage fixé, univoque, de priorité LL à priorité PHY, soit un mécanisme de transport de la priorité LL au sein de chaque trame. Le protocole LARQ, défini au § 10.7, transporte la priorité LL allouée d'une station émettrice à une station réceptrice, fournissant le mécanisme nécessaire, et par là créant l'opportunité d'appliquer des mappages de priorité LL à PHY qui ne soient pas par défaut, ce qui à son tour, permet d'atteindre une bande passante maximale plus élevée. Une station a la faculté d'utiliser un en-tête 802.1q pour convoyer la priorité LL. Cependant, dans la mesure où la prise en charge des en-têtes 802.1q est facultative, une station employant cette méthode devrait essayer de déterminer si tous les récepteurs de la trame acceptent l'utilisation des

en-têtes 802.1q. Les stations qui n'acceptent pas les en-têtes 802.1q ne recevront probablement pas correctement les trames qui comportent un en-tête 802.1q.

10.6.7.1 Trames d'émission – Choix de priorité physique

Tous les changements de la fonction de remappage de priorité PHY dus à l'utilisation d'une nouvelle priorité devraient avoir déjà été effectués lorsque survient l'allocation à la trame d'une priorité de couche Physique. Le pilote devrait utiliser la priorité PHY retransposée pour transmettre la trame (y compris placer cette valeur dans l'en-tête de contrôle de trame) à moins que la trame n'ait pas d'en-tête LARQ, auquel cas on doit utiliser le mappage de couche LL à PHY par défaut.

10.6.7.2 Priorités de trame reçues

La priorité LL des trames reçues indiquée sur la pile de protocoles par le pilote (avant toute réallocation due à un en-tête LARQ ou 802.1q) doit être déterminée en utilisant le mappage de priorité de couche PHY à LL. Le mécanisme qui garantit une priorité LL correcte pour les trames reçues est la restauration de la priorité LL à partir de l'en-tête LARQ (ou facultativement, 802.1q) ou de la spécification de flux. Le traitement de l'en-tête LARQ doit être effectué après que la priorité LL par défaut a été allouée dans le chemin de réception. Si une trame reçue peut être mappée en un canal de flux, les informations de priorité dans la spécification de flux associée doivent être utilisées pour récupérer la priorité LL.

10.6.7.3 Mappage par défaut de couche Liaison à couche Physique

La spécification IEEE 802.1p place la priorité par défaut non allouée/au mieux) au-dessus des priorités 1 et 2, lorsque le système de priorités à huit niveaux est en service. La priorité de couche Liaison 0 doit donc être mappée au-dessus de LL 1 et LL 2 pour l'allocation de priorité par défaut de couche Physique. IEEE 802.1p désigne le niveau de priorité 7 pour le contrôle du réseau et le niveau de priorité 6 pour le trafic exigeant un délai de latence inférieur à 10 ms (normalement caractéristique du trafic de type vocal). Cependant, sur les réseaux PNT, le niveau de priorité PHY 7 doit être réservé pour le trafic requérant un délai de latence inférieur à 10 ms, et le trafic de contrôle du réseau doit être redirigé sur le niveau de priorité PHY de PNT 6. La priorité de couche Liaison 5 doit être réservée au trafic requérant un délai de latence inférieur à 100 ms. Ainsi le mappage par défaut des mappages de priorité de couche LL à couche PHY inclut l'interversion des priorités 6 et 7.

Pour les trames émises, l'ensemble des priorités LL [0,1,2,3,4,5,6,7] doit être mappé, par défaut, dans l'ordre de l'ensemble suivant des priorités PHY [2,0,1,3,4,5,7,6].

Pour les trames reçues, les priorités PHY [0,1,2,3,4,5,6,7] doivent être mappées par défaut en priorités LL [1,2,0,3,4,5,7,6].

10.6.8 Mappage de priorité et LARQ

Le remappage de priorité PHY doit être effectué en-dessous de LARQ dans la pile de protocoles, et ne doit pas être appliqué au champ de priorité dans l'en-tête LARQ (ou facultativement, 802.1q). Le remappage de priorité PHY ne doit pas être effectué sur les trames de données (celles qui ne sont pas des trames de contrôle de liaison) à moins qu'un en-tête LARQ (ou facultativement, 802.1q) n'ait été ajouté avec la priorité LL d'origine. Le remappage de priorité PHY doit être effectué sur les trames de contrôle de liaison.

10.6.9 Remappage de priorité fondé sur CurrentInUseSet

Sans mappage de priorité, une station passerait la **priorité LL** d'origine au pilote, chez qui la valeur serait utilisée pour choisir la priorité PHY associée à partir du mappage par défaut. Avec le remappage de priorité, les **priorités PHY allouées par défaut** sont augmentées pour utiliser des priorités PHY supérieures qui seraient autrement inutilisées. La fonction de remappage est simple. Pour chaque priorité PHY **P** qui correspond à une priorité LL en cours d'utilisation, la nouvelle

priorité **P'** à utiliser doit être cette priorité augmentée du nombre de priorités supérieures non utilisées. Par exemple, si [1,3,4,7] sont utilisées, la priorité 4 sera alors augmentées de 2 à 6, dans la mesure où il y a deux priorités supérieures non utilisées (5,6). La Figure 10-5 contient quelques exemples supplémentaires qui devraient éclairer cela (y compris la traduction par défaut de LL à PHY). Les colonnes des Figure 10-4 et Figure 10-5 représentent les **priorités LL** avant le mappage. La partie gauche montre quelques ensembles de priorités en cours d'utilisation, et la partie droite montre la nouvelle priorité PHY que le pilote devrait utiliser dans chaque cas.

									Priorité LL d'émission							
									0	1	2	3	4	5	6	7
Priorités en cours d'utilisation (de toute sorte)									Priorités PHY d'émission par défaut							
a	n	y	t	x	s	e	t		2	0	1	3	4	5	7	6

Figure 10-4/G.9954 – Mappage par défaut de priorité de LL à PHY

									Priorité LL d'émission							
									0	1	2	3	4	5	6	7
Priorités en cours d'utilisation (LL)									Priorités PHY d'émission remappées							
0							7		6	5	5	6	6	6	7	7
0						6	7		5	4	4	5	5	5	7	6
0	1			4			7		5	4	4	5	6	6	7	7
0			3		5	6	7		3	2	2	4	4	5	7	6

Figure 10-5/G.9954 – Remappage de priorité d'émission directe de LL à PHY

Les entrées ombrées dans la Figure 10-5 montrent des mappages qu'aucun expéditeur ne devrait utiliser. Cependant, s'il est possible qu'une implémentation fasse un envoi avec un mappage démodé, ou envoie une priorité qui n'a pas été incluse dans le mappage, elle devrait toujours utiliser la priorité du mappage valide inférieur le plus proche.

Un exemple est détaillé ci-après. Si les priorités CurrentInUse sont [0,1,4,7], l'ensemble correspondant de priorités PHY en cours d'utilisation est alors [2,0,4,6]. Augmenter chaque numéro de priorités supérieures manquantes:, 2→5, 0→4, 4→6 et 6→7. A titre de sauvegarde, les priorités PHY non utilisées sont aussi remappées dans les nouvelles valeurs de la priorité utilisée inférieure la plus proche, donnant: 1→4, 3→5, 5→6, 7→7.

Ainsi, les priorités LL en cours d'utilisation [0,1,4,7] résultent en priorités d'émission PHY [5,4,6,7]. Un mappage complet pour toutes les priorités LL ajoute les valeurs remappées restantes pour les priorités par défaut correspondant aux priorités LL inutilisées: LL[0,1,2,3,4,5,6,7] donne PHY[5,4,4,5,6,6,7,7].

10.7 LARQ: protocole de demande de répétition automatique limitée

Le protocole de demande de répétition automatique limitée (LARQ, *limited automatic repeat request*) est un protocole qui réduit le taux d'erreurs effectif lorsque surviennent des erreurs de trame. Sa principale différence par rapport aux protocoles similaires fondés sur des séquences de nombres est qu'il ne garantit pas une livraison efficace de chaque trame, mais dissimule des erreurs dans la couche Physique sous une retransmission rapide des trames. L'objectif est d'améliorer substantiellement la capacité d'utilisation des réseaux qui peuvent, au moins de façon occasionnelle, avoir des taux d'erreur de trame (FER) de 1 pour 10^{-2} ou pire. Des protocoles tels que TCP sont connus pour leur mauvais comportement lorsque le FER devient assez élevé, et d'autres applications, telles que le multimédia sur des couches de transport en flux, sont aussi susceptibles de performances médiocres dues à des conditions de FER élevée.

Le protocole fournit un mécanisme d'accusé de réception négatif (NACK) au récepteur pour demander la retransmission des trames manquantes ou reçues avec des erreurs. Il n'y a pas de mécanisme d'accusé de réception positif ni de d'établissement ou suppression explicite de connexion. Un mécanisme de rappel donne au récepteur une seconde chance de détecter les trames manquantes lorsque des intervalles relativement longs (de temps) surviennent entre les trames.

Les fonctions LARQ sont une couche d'adaptation entre la couche de liaison Ethernet (couche 2) et la couche de réseau IP (couche 3). Elles sont implémentées de façon usuelle dans les pilotes d'appareils.

Les stations implémentent LARQ par "canal LARQ", et un canal LARQ est identifié soit par le tuplet {adresse de source, adresse de destination, priorité}, désigné sous le nom de canal de priorité LARQ soit par le tuplet {adresse de source, adresse de destination, ID de flux}, désigné sous le nom de canal de flux LARQ).

Le canal de priorité LARQ est défini (et établi) d'une façon qui dépend de l'implémentation. Un canal de flux LARQ est défini lorsque la politique d'accusé de réception (ACK-Policy) pour le flux associé (dans la spécification de flux) est réglée à "LARQ" et établie conjointement avec l'établissement du flux.

Les stations peuvent activer ou désactiver de façon dynamique le traitement LARQ sur un canal, sur la base des informations sur les taux d'erreur de trame du réseau. Cependant, LARQ devrait être laissé activé en permanence, dans la mesure où la redondance de traitement par paquet est assez faible, et où la complexité associée à l'activation et désactivation du protocole (y compris la détermination des paramètres appropriés) contrebalance probablement tout gain de performances vraisemblable.

Les stations devraient implémenter LARQ, et si elles le font, elles doivent utiliser les formats de trame de contrôle spécifiés et utiliser les procédures définies ci-dessous.

Pour un canal simple (c'est-à-dire un canal logique défini par SA, DA sans spécification de flux associée) les stations qui n'ajoutent pas les en-têtes LARQ (ou facultativement, 802.1q) ne doivent pas remapper les priorités PHY, et doivent traiter tout le trafic reçu comme "au mieux", c'est-à-dire que tout le trafic doit être alloué à la priorité 0 de couche Liaison. Pour un canal de flux (c'est-à-dire un canal logique défini par SA, DA, ID de flux) le remappage de priorité PHY et la récupération de priorité LL sont effectués en utilisant les informations de priorité de la spécification du flux.

Les stations peuvent choisir d'ajouter des en-têtes LARQ sur les trames émises avec le fanion LARQ_NoRtx réglé à 1. Ce fanion indique que la station ne retransmet pas les trames pour ce canal, mais l'ajout de l'en-tête LARQ permet à la station d'utiliser le remappage de priorité Phy dans la mesure où la priorité LL des trames bien reçues sera restaurée à partir de l'en-tête LARQ.

Toutes les stations DOIVENT être capables de retirer les en-têtes LARQ des trames reçues (désincorporation des charges utiles d'origine). De plus, si l'implémentation accepte des priorités LL multiples dans son traitement de protocole de réception, elle doit alors restaurer la priorité LL à partir de l'en-tête LARQ, s'il en est un. Si une station n'implémente pas LARQ, elle doit alors abandonner les trames de contrôle LARQ et supprimer les trames marquées comme retransmissions dans l'en-tête LARQ.

10.7.1 Formats de trame – En-têtes d'incorporation

Le texte ci-dessous utilise les termes "insérer" et "retirer" pour parler des en-têtes LARQ. La définition formelle du format de trame LARQ fournit un champ Next Ethertype qui contient la valeur d'Ethertype de la trame d'origine. En pratique, le cas général sera celui de trames LARQ créées en insérant les 8 octets commençant par l'Ethertype 0x886c dans la trame d'origine entre l'adresse de source de l'en-tête Ethernet et l'Ethertype de la trame d'origine. L'Ethertype de la trame d'origine est re étiqueté comme champ Next Ethertype de la trame finale.

L'en-tête LARQ transporte la priorité LLC à travers le réseau. L'utilisation d'en-têtes 802.1q n'est pas exigée pour cette fonction, et les pilotes PNT ne sont pas obligés d'accepter l'utilisation d'en-têtes 802.1q pour convoyer la priorité.

Tableau 10-14/G.9954 – Trame de contrôle de rappel LARQ

Champ	Longueur	Signification
DA	6 octets	Adresse de destination
SA	6 octets	Adresse de source
Ethertype	2 octets	0x886c (trame de contrôle de liaison PNT)
SSType	1 octet	= SUBTYPE_LARQ (4)
SSLength	1 octet	Nombre d'octets supplémentaires dans l'en-tête de contrôle, commençant avec le champ SSVersion et se terminant par le second (dernier) octet du champ Next Ethertype. SSLength est 6 pour SSVersion 0.
SSVersion	1 octet	= 0
LARQ_hdr data	3 octets	Données d'en-tête de contrôle LARQ avec le bit LARQ_ctl = 1, LARQ_NACK = 0.
Next Ethertype	2 octets	= 0
Pad	38 octets	
FCS	4 octets	Séquence de vérification de trame
CRC-16	2 octets	Séquence de vérification de trame PNT

Tableau 10-15/G.9954 – Trame de contrôle NACK LARQ

Champ	Longueur	Signification
DA	6 octets	Adresse de destination
SA	6 octets	Adresse de source
Ethertype	2 octets	0x886c (trame de contrôle de liaison PNT)
SSType	1 octet	= SUBTYPE_LARQ (4)
SSLength	1 octet	Nombre d'octets supplémentaires dans l'en-tête de contrôle, commençant avec le champ SSVersion et se terminant par le second (dernier) octet du champ Next Ethertype. SSLength est 12 pour les trames Nack avec SSVersion 0.
SSVersion	1 octet	= 0
LARQ_hdr data	3 octets	Données d'en-tête de contrôle LARQ avec le bit LARQ_ctl = 1, LARQ_NACK = 1 à 7.
NACK_DA	6 octets	Adresse de destination d'origine
Next Ethertype	2 octets	= 0
Pad	32 octets	
FCS	4 octets	Séquence de vérification de trame
CRC-16	2 octets	Séquence de vérification de trame PNT

Tableau 10-16/G.9954 – Trame d'incorporation LARQ

Champ	Longueur	Signification
DA	6 octets	Adresse de destination (à partir des PDU Ethernet d'origine)
SA	6 octets	Adresse de source (à partir des PDU Ethernet d'origine)
Ethertype	2 octets	0x886c (trame de contrôle de liaison PNT)
SSType	1 octet	= SUBTYPE_LARQ (4)
SSLength	1 octet	Nombre d'octets supplémentaires dans l'en-tête de contrôle, commençant avec le champ SSVersion et se terminant par le second (dernier) octet du champ Next Ethertype. SSLength est 6 pour SSVersion 0 = 6
SSVersion	1 octet	= 0
LARQ_hdr data	3 octets	Données d'en-tête d'incorporation LARQ (avec le bit LARQ_ctl = 0)
Next Ethertype	2 octets	à partir des PDU Ethernet d'origine
Payload	Min 46 octets	à partir de la charge utile de PDU Ethernet d'origine
FCS	4 octets	Séquence de vérification de trame
CRC-16	2 octets	Séquence de vérification de trame PNT

Tableau 10-17/G.9954 – Données d'en-tête d'incorporation LARQ

Octet	Champ	Longueur	Signification
Flags0	LARQ_Mult	1 bit	Fanion de retransmission multiple. 0 dans la transmission d'origine d'une trame de données. Pour les trames retransmises (LARQ_Rtx = 1), mettre à la valeur de LARQ_Mult dans la trame NACK qui a causé la retransmission. Ce fanion peut être utilisé par les récepteurs pour mesurer les temps d'aller-retour associés au processus de retransmission manquant/Nack/réception.
	LARQ_Rtx	1 bit	0 pour la première transmission d'une trame, 1 si la trame est retransmise. Les stations qui n'implémentent pas LARQ doivent abandonner toute trame de données si ce bit est 1.
	LARQ_NewSeq	1 bit	1 si l'espace de numéro de séquence pour le canal a été remis à zéro et les numéros de séquence plus anciens ne devraient pas recevoir de non accusé de réception, 0 autrement.
	LARQ_NoRtx	1 bit	0 si l'implémentation accepte la retransmission, 1 si seule la priorité est significative. Peut être utilisé canal par canal.
	LARQ_Ctl	1 bit	"0" en format d'incorporation.
	Priorité	3 bits	Priorité/ID de flux de couche Liaison de cette trame.
Flags1_Seq0	Réservé	2 bits	Réservé pour utilisation future
	LARQ_seq_high	4 bits	4 bits hauts du numéro de séquence
Seq1	LARQ_seq_low	8 bits	8 bits bas du numéro de séquence

L'application exacte des bits LARQ_Rtx, LARQ_NewSeq et LARQ_NoRtx demande des explications complémentaires qu'on trouvera au Tableau 10-18:

Tableau 10-18/G.9954 – Interprétation des bits LARQ_Rtx, LARQ_NewSeq et LARQ_NoRtx

LARQ_Rtx	LARQ_NewSeq	LARQ_NoRtx	Interprétation
0	0	0	Transmission normale sur un canal actif. Cette combinaison est utilisée pour la première transmission d'une trame sur un canal LARQ actif. Le récepteur de cette trame devrait envoyer des NACK pour les premiers numéros de séquence qui apparaissent manquants lorsque cette trame est reçue, ou pour cette trame, si elle a une erreur de CRC mais que l'en-tête LARQ paraît être en séquence pour le canal.
0	0	1	Utilisé pour la première transmission d'une trame qui ne sera pas retransmise en réponse à un NACK. L'expéditeur devrait utiliser cette combinaison lorsqu'il ne sauvegarde pas la trame pour une retransmission en réponse à la réception d'un NACK. Si un récepteur conserve l'état, il devrait alors envoyer cette trame lorsqu'il a reçu des trames pour tous numéros de séquence précédents, ou abandonné les tentatives de réception de trames pour tous les numéros de séquence précédents.
0	1	0	Utilisé pour la première transmission d'une trame avec un nouvel espace de numéro de séquence. L'expéditeur utilise cette combinaison lorsqu'il n'y a pas de trames sauvegardées pour le canal, excepté cette trame. Le récepteur devrait envoyer toutes les trames pour ce canal jusqu'à la couche suivante, dans la mesure où il n'y a plus la possibilité de recevoir de trames avec les numéros de séquence précédents. Le récepteur de cette trame devrait envoyer un NACK pour cette trame, si elle a une erreur de CRC mais que l'en-tête LARQ apparaît être en séquence pour le canal.
0	1	1	Utilisé pour la première transmission d'une trame avec un nouvel espace de numéro de séquence qui ne sera pas retransmis en réponse à un NACK. L'expéditeur utilise cette combinaison lorsqu'il n'y a pas de trame sauvegardée pour le canal. Le récepteur devrait envoyer toutes les trames pour ce canal jusqu'à la couche suivante, dans la mesure où il n'y a plus la possibilité de recevoir de trames avec les numéros de séquence précédents.

Tableau 10-18/G.9954 – Interprétation des bits LARQ_Rtx, LARQ_NewSeq et LARQ_NoRtx

LARQ_Rtx	LARQ_NewSeq	LARQ_NoRtx	Interprétation
1	0	0	Retransmission d'une trame pour ce canal. L'expéditeur utilise cette combinaison pour envoyer une trame qui a été transmise auparavant, et pour laquelle un NACK causerait une retransmission supplémentaire. Le récepteur doit accepter cette trame si elle n'est pas une duplication. Si le récepteur ne conserve pas l'état pour le canal, cette trame doit alors être supprimée parce qu'il serait impossible de déterminer l'état de duplication pour la trame. Le récepteur de cette trame devrait envoyer un NACK pour cette trame si elle a une erreur de CRC mais que l'en-tête LARQ paraît être en séquence pour le canal.
1	0	1	Retransmission d'une trame pour ce canal. L'expéditeur utilise cette combinaison pour envoyer une trame qui a été transmise auparavant, mais n'a pas été sauvegardée pour retransmission en réponse à la réception d'un NACK. Le récepteur doit accepter cette trame si elle n'est pas une duplication. Si le récepteur ne conserve pas l'état pour le canal, cette trame doit alors être supprimée parce qu'il serait impossible de déterminer l'état de duplication pour la trame.
1	1	0	Retransmission d'une trame pour ce canal. L'expéditeur utilise cette combinaison lorsqu'il n'y a pas de trame sauvegardée plus ancienne pour le canal, excepté cette trame. Le récepteur doit accepter cette trame si elle n'est pas une duplication. Si le récepteur ne conserve pas l'état pour le canal, cette trame doit alors être supprimée parce qu'il serait impossible de déterminer l'état de duplication pour la trame. Le récepteur devrait envoyer cette trame et toutes les trames plus anciennes pour ce canal jusqu'à la couche suivante, dans la mesure où il n'est plus possible de recevoir de trames avec les numéros de séquence précédents. Le récepteur de cette trame devrait envoyer un NACK pour cette trame si elle a une erreur de CRC mais que l'en-tête LARQ paraît être en séquence pour le canal.

Tableau 10-18/G.9954 – Interprétation des bits LARQ_Rtx, LARQ_NewSeq et LARQ_NoRtx

LARQ_Rtx	LARQ_NewSeq	LARQ_NoRtx	Interprétation
1	1	1	Retransmission d'une trame pour ce canal. L'expéditeur utilise cette combinaison lorsqu'il n'y a pas de trame sauvegardée plus ancienne pour le canal. Le récepteur doit accepter cette trame si elle n'est pas une duplication. Si le récepteur ne conserve pas l'état pour le canal, cette trame doit alors être supprimée parce qu'il serait impossible de déterminer l'état de duplication pour la trame. Le récepteur devrait envoyer cette trame et toutes les trames plus anciennes pour ce canal jusqu'à la couche suivante, dans la mesure où il n'est plus possible de recevoir de trames avec les numéros de séquence précédents.

Tableau 10-19/G.9954 – Données d'en-tête de contrôle LARQ

Octet	Champ	Longueur	Signification
Flags0	LARQ_Mult	1 bit	Fanion de retransmission multiple. 0 dans le premier Nack envoyé pour un numéro de séquence donné, 1 dans tout Nack retransmis.
	LARQ_NACK	3 bits	Compte de NACK. Si 0 dans une trame de contrôle LARQ, c'est alors un rappel.
	LARQ_Ctl	1 bit	Mis à 1 pour le format de données d'en-tête de contrôle LARQ.
	Priorité/ID de flux	3 bits	Priorité/ID de flux de couche Liaison de cette trame.
Flags1_Seq0	ID de flux	1 bit	Bit d'ordre élevé d'ID de flux si FSelector = 1.
	FSelector	1 bit	Choisit l'interprétation du champ Priorité/ID de flux. 0 Interprétation de Priorité 1 Interprétation d'ID de flux
	Réservé	2 bits	Réservé pour utilisation future
	LARQ_seq_high	4 bits	4 bits hauts du numéro de séquence
Seq1	LARQ_seq_low	8 bits	8 bits bas du numéro de séquence

10.7.2 Termes et définitions

10.7.2.1 trame de contrôle: trame générée par un module de protocole LARQ qui ne contient qu'un en-tête de protocole LARQ comme charge utile.

10.7.2.2 numéro de séquence en cours: le numéro de séquence le plus récent reçu pour un canal.

10.7.2.3 trame de données: toute trame Ethernet standard provenant d'une couche de protocole supérieure (à LARQ). Une station disposant de la capacité LARQ incorpore la charge utile d'origine

d'une trame Ethernet en insérant un en-tête LARQ (en-tête de contrôle de forme courte avec des données LARQ_hdr) entre l'adresse de source et le reste de la trame avant que la trame ne soit passée au pilote pour transmission sur le réseau.

10.7.2.4 temporisateur d'oubli: mécanisme dépendant de l'implémentation pour permettre à un récepteur de remettre à zéro l'espace de numéro de séquence d'un canal lorsqu'un numéro de séquence reçu n'est pas le suivant attendu (numéro de séquence en cours + 1). Une seconde est la valeur par défaut suggérée.

10.7.2.5 temporisateur de garde, temporisateur de perte: mécanisme de temporisation dépendant de l'implémentation qui limite le temps pendant lequel un récepteur va tenir une trame reçue quand il attend qu'une trame manquante soit retransmise. Conceptuellement, il y a un seul temporisateur de ce type par numéro de séquence manquant. L'intervalle de temporisation est l'intervalle de garde maximal.

10.7.2.6 canal logique, canal: flux de trames d'un expéditeur à un ou plusieurs récepteurs sur un seul segment de réseau se composant de toutes les trames avec une seule combinaison d'adresse de destination, d'adresse de source et de priorité ou ID de flux de couche Liaison.

10.7.2.7 NACK, Nack, nack: indication d'un récepteur à un expéditeur qui demande la retransmission d'une ou plusieurs trames. Aussi, l'action de fournir une telle indication. Par exemple, "nacker un numéro de séquence" signifie envoyer une indication NACK (*non accusé de réception*).

10.7.2.8 temporisateur de NACK: mécanisme de temporisation dépendant de l'implémentation, utilisé par un récepteur pour retransmettre des NACK pour les numéros de séquence manquants. Conceptuellement, il y a un seul temporisateur de ce type par numéro de séquence manquant et par canal logique. Le temporisateur est remis à zéro chaque fois qu'un NACK est envoyé pour un numéro de séquence. L'intervalle de temporisation est l'intervalle de retransmission NACK.

10.7.2.9 nouveau: un nouveau numéro de séquence est celui dont la différence avec le numéro de séquence en cours pour le canal, modulo la taille de l'espace de numéro de séquence et considéré comme un entier algébrique, est supérieure à 0. En particulier, les numéros (en cours + 1) jusqu'à (en cours + 2047).

10.7.2.10 ancien: un ancien numéro de séquence est celui dont la différence avec le numéro de séquence en cours pour le canal, modulo la taille de l'espace de numéro de séquence et considéré comme un entier algébrique, est inférieure ou égale à 0. En particulier, les numéros (en cours – 2048) jusqu'à (en cours) sont anciens. Cependant, la plupart des anciens numéros de séquence sont aussi hors séquence.

10.7.2.11 hors séquence: tout numéro de séquence qui tombe en dehors d'une gamme raisonnable, ancienne ou nouvelle, autour de numéro de séquence en cours pour un canal logique est considéré comme hors séquence. Plus ou moins deux fois la valeur de MaximumSaveLimit (définie ci-dessous) devrait être utilisé comme "gamme raisonnable" lors de la vérification des hors séquence.

10.7.2.12 récepteur: station qui reçoit des trames envoyées sur un canal particulier. Si l'adresse de destination est une adresse en monodiffusion, il y a au plus un récepteur. Si l'adresse de destination est un groupe d'adresses (y compris en diffusion), il peut alors y avoir de nombreux récepteurs.

10.7.2.13 rappel: trame de contrôle envoyée par le canal expéditeur avec le numéro de séquence utilisé le plus récent qui a été inactif pendant l'intervalle de rappel après sa plus récente trame de données.

10.7.2.14 temporisateur de rappel: mécanisme de temporisation dépendant de l'implémentation utilisé par l'expéditeur pour générer une trame de rappel après une période d'inactivité pour un canal. Le temporisateur est remis à zéro chaque fois qu'une nouvelle trame de données est transmise. Conceptuellement, il y a un seul temporisateur de ce type par canal. L'intervalle de temporisation est l'intervalle de rappel.

10.7.2.15 temporisateur de sauvegarde: mécanisme de temporisation dépendant de l'implémentation qui limite la durée pendant laquelle un expéditeur va sauvegarder une trame en attendant des demandes de retransmission. L'intervalle de temporisation est l'intervalle maximal de sauvegarde.

10.7.2.16 expéditeur: la station expéditrice pour un canal, habituellement la station qui possède l'adresse MAC de source.

10.7.2.17 numéros de séquence: les numéros de séquence sont entretenus de façon séparée pour chaque canal logique par l'expéditeur.

10.7.3 Canaux

LARQ est défini pour fonctionner sur des canaux logiques simplex. Un canal logique distinct est défini pour chaque combinaison d'adresse de destination Ethernet, adresse de source Ethernet et priorité de couche Liaison ou d'adresse de destination Ethernet, adresse de source Ethernet et identifiant de flux. Il n'y a pas de procédure explicite d'établissement de canal. Un nouveau canal est défini implicitement lorsqu'une station choisit d'envoyer des trames incorporées LARQ pour une nouvelle combinaison de DA, SA et priorité ou identifiant de flux de couche Liaison. Pour un canal de flux, un canal LARQ associé peut être établi implicitement lorsque le flux est établi si la politique d'accusé de réception définie pour le flux est LARQ.

La station qui envoie de telles trames incorporées LARQ (habituellement le détenteur de la SA, excepté dans le cas d'un pont déguisé en SA) est l'**expéditeur** pour le canal. Chaque canal a un seul **expéditeur**. Toute station qui reçoit les trames et traite les en-têtes LARQ est un **récepteur**. Le nombre de **récepteurs** n'est pas limité. Les **récepteurs** fonctionnent de façon indépendante.

10.7.4 Fonctionnement de l'expéditeur

10.7.4.1 Variables et paramètres

- Numéro de séquence d'envoi: numéro de séquence de la trame de données émise en dernier.
- intervalle de temporisateur de rappel: intervalle fixé. La valeur par défaut est 50 ms. Des valeurs plus faibles augmenteront la redondance des rappels sur la charge du réseau, alors que des valeurs plus élevées augmentent le délai de latence pour les trames de fin de séquence qui demandent une retransmission. Les implémentations ne devraient pas utiliser de valeurs en dehors de la gamme 25-75 ms, sur la base de temps maximal de sauvegarde et de garde de 150 ms.
- intervalle minimal de retransmission: intervalle utilisé pour prévenir de trop fréquentes retransmissions d'une seule trame. Très important pour les canaux en multidiffusion. La valeur par défaut est 10 ms.
- limite maximale de sauvegarde: nombre maximal de trames qui seront sauvegardées pour un seul canal logique. Ceci dépend de l'implémentation, et varie avec le débit maximal de trame que l'expéditeur s'attend à prendre en charge. Des valeurs de 100 ou plus peuvent être utiles pour des applications à haut débit comme la vidéo.

- intervalle maximal de sauvegarde: durée maximale pendant laquelle l'expéditeur va normalement sauvegarder une trame en vue d'une possible retransmission. La valeur par défaut est 150 ms.

10.7.4.2 Expéditeur – Nouveau canal

Choisir si nécessaire les paramètres dépendant de l'implémentation.

Choisir une valeur initiale pour le **Numéro de séquence d'envoi**.

10.7.4.3 Expéditeur – Transmission d'une nouvelle trame de données

La priorité de couche Liaison pour la trame est déterminée d'une façon qui dépend de l'implémentation, par exemple, en examinant la priorité 802.1p transmise avec les paquets dans les plus récentes implémentations NDIS.

Accéder aux informations d'état du canal logique pour obtenir les DA, SA et priorité/ID de flux de couche Liaison de la trame.

Incrémenter le numéro de séquence d'envoi, modulo 4096 (taille de l'espace de numéro de séquence).

Construire l'en-tête LARQ avec la nouvelle valeur du numéro de séquence d'envoi, et le fanion de Retransmission multiple réglé à 0. Le champ Priorité dans l'en-tête LARQ doit être réglé à la valeur de priorité de couche Liaison spécifié pour la trame. Si aucune priorité n'est spécifiée, la priorité doit alors être réglée à 0. La méthode de spécification de priorité et le choix des valeurs pour les canaux à priorité LARQ dépend de l'implémentation et sort du domaine d'application de la présente Recommandation. Pour les canaux de flux LARQ, la priorité LL doit être réglée en utilisant la priorité spécifiée dans la spécification de flux.

Insérer un en-tête LARQ (format de trame de contrôle de forme courte avec données LARQ_hdr) entre le champ SA et le champ Ethertype/Longueur de la trame d'origine. La nouvelle trame fait huit octets de plus que celle d'origine.

Sauvegarder une copie de la trame.

Envoyer la trame.

Relancer le temporisateur de rappel pour le canal.

Lancer un temporisateur de sauvegarde pour le numéro de séquence. Lorsque aucune autre limitation de ressource ne s'applique, une station expéditrice devrait normalement sauvegarder une trame pendant l'Intervalle de sauvegarde maximal, qui correspond à l'Intervalle maximal de garde utilisé par les récepteurs LARQ.

10.7.4.4 Expéditeur – Traitement d'une trame de contrôle NACK

La priorité/ID de flux et l'adresse de destination d'origine (NACK_DA) sont lues à partir de l'en-tête de NACK LARQ.

Accéder aux informations d'état du canal logique pour le canal expéditeur, où la DA de canal est le NACK_DA et la SA de canal est la DA Ethernet à partir de la trame de contrôle Nack.

Le compte de NACK dans l'en-tête LARQ indique le nombre de numéros de séquence dont la retransmission est demandée. Le premier numéro de séquence indiqué est la valeur Numéro de séquence dans l'en-tête NACK, suivie par les numéros de séquence suivants (compte NACK – 1). Pour chaque numéro de séquence indiqué commençant par le premier:

– Si une copie de la trame d'origine n'est plus disponible, aller au numéro de séquence suivant.
– Si la plus récente retransmission de la trame est dans l'Intervalle minimal de retransmission du temps en cours, aller au numéro de séquence suivant.

– Préparer une copie de la trame d'origine avec son en-tête LARQ d'origine pour retransmission.
– Copier la valeur du fanion Retransmission multiple à partir de l'en-tête NACK dans l'en-tête LARQ de la trame à retransmettre.
– Mettre le fanion LARQ_Rtx à 1.
– Envoyer la trame retransmise.

Ne pas envoyer de retransmission si une trame de contrôle Nack reçue a une erreur.

10.7.4.5 Expéditeur – Expiration du temporisateur de rappel

Si le temporisateur de rappel arrive à expiration, créer une trame de contrôle de rappel, avec le numéro de séquence réglé à la valeur en cours du numéro de séquence d'envoi pour le canal. Pour la trame de contrôle d'appel, la priorité doit être la même que celle du canal.

Envoyer la trame.

Ne pas relancer le temporisateur de rappel pour le canal.

10.7.4.6 Expéditeur – Expiration du temporisateur de sauvegarde

Le temporisateur de sauvegarde dépend de l'implémentation. Son objet est l'établissement d'une limite supérieure sur la durée de sauvegarde des trames par un expéditeur en vue de leur possible retransmission. S'il est réglé sur une durée trop longue, les ressources de l'hôte peuvent être gaspillées à sauvegarder des trames qui ne seront jamais retransmises.

Ce temporisateur est implémenté par numéro de séquence. Libérer toute ressource associée à la trame sauvegardée.

10.7.4.7 Expéditeur – Gestion de ressources

Une implémentation LARQ requiert une grande attention à la gestion des ressources. Les ressources comprennent les mémoires tampon pour la sauvegarde des copies des données en vue de leur retransmission, les mémoires tampon et les autres ressources utilisées pour gérer l'ordonnancement des trames pour incorporer les retransmissions, et les différents temporisateurs qui servent à gouverner un comportement approprié et un fonctionnement efficace du protocole. La gestion des ressources dépend de l'implémentation. Cependant, il convient de suivre les lignes directrices suivantes:

Les copies sauvegardées des trames devraient être conservées pendant l'Intervalle de sauvegarde maximal (la valeur par défaut est 150 ms), en dépit de toutes autres considérations.

Limite maximale de sauvegarde, nombre maximal de trames sauvegardées pour tout canal, devrait être une fonction du débit maximal de génération de nouvelles trames. Des appareils très lents peuvent utilement sauvegarder une paire de trames pour la retransmission. Un appareil à haut débit desservant des flux vidéo peut sauvegarder 100 trames ou plus pour un seul canal.

Les expéditeurs qui sauvegardent relativement peu de trames vont vraisemblablement recevoir des trames de contrôle NACK pour les numéros de séquence qui ne peuvent plus être retransmis. Un tel comportement est inefficace, mais ne cause pas d'autres problèmes.

10.7.5 Fonctionnement du récepteur

10.7.5.1 Variables et paramètres de canal

La description ci-dessous du fonctionnement correct du protocole utilise les variables suivantes. L'implémentation réelle peut varier du moment que le comportement reste inchangé.

- Numéro de séquence en cours: numéro de séquence le plus récent reçu dans un en-tête LARQ pour le canal, que la trame soit une trame de données ou de contrôle de rappel.
- Plus vieux numéro de séquence manquant: plus ancien numéro de séquence non encore reçu pour une trame, qui n'a pas été déclarée perdue.
- Intervalle de garde maximal: plus long intervalle qu'une trame va être conservée en attendant une trame précédemment manquante. La valeur par défaut est d'utiliser la même valeur que pour l'Intervalle de sauvegarde maximal, qui est de 150 ms.
- Limite maximale de récepteur: nombre maximal de trames qu'un récepteur va mettre en mémoire tampon en attendant une trame précédente manquante. La valeur par défaut devrait normalement être la même que celle de Limite maximale de sauvegarde.
- Intervalle de retransmission de NACK: intervalle après lequel un récepteur va retransmettre une trame de contrôle de Nack pour un numéro de séquence manquant, en supposant que les retransmissions de trames de contrôle de Nack ou de trames de données ont été perdues. La valeur par défaut pour les implémentations fixées est de 20 ms.

10.7.5.2 Récepteur – Nouveau canal

Lors de la réception d'une trame de données avec en-tête LARQ ou trame de contrôle de rappel LARQ, le récepteur doit déterminer l'identité du canal LARQ (c'est-à-dire {DA, SA, priorité} ou {DA, SA, ID de flux} en utilisant les informations dans la trame LARQ (c'est-à-dire Contrôle de trame et en-tête d'incorporation LARQ) et déterminer si il s'agit d'un nouveau canal. Si le canal LARQ est nouveau, le récepteur doit initialiser les informations d'état pour un nouveau canal. Pour un canal de flux, le canal LARQ associé peut être établi pendant l'établissement du flux si celui-ci a un ACK Policy = LARQ.

La partie principale des informations d'état est le Numéro de séquence en cours pour le canal. Numéro de séquence en cours doit être initialisé au numéro de séquence qui précède immédiatement celui qui se trouve dans l'en-tête LARQ de la trame reçue. Cette allocation doit avoir lieu avant le traitement de la trame reçue et il en résultera que la trame apparaîtra comme la prochaine trame de données attendue, ou le rappel pour la prochaine trame de données attendue.

10.7.5.3 Récepteur – Trame de données ou de rappel LARQ

Aller voir les informations d'état de canal sur la base des adresses DA et SA Ethernet dans la trame reçue, plus la priorité/ID de flux de couche Liaison à partir de l'en-tête LARQ. (Etablir un nouveau canal si nécessaire.)

Si le numéro de séquence reçu de la trame reçue est hors séquence, l'état du canal doit être remis à zéro. Si le numéro de séquence (avant remise à zéro) est ancien, et que le temporisateur d'oubli est arrivé à expiration, l'espace de séquence peut être remis à la valeur du numéro de séquence de la trame reçue.

Si le numéro de séquence reçu est plus récent que le Numéro de séquence en cours (après toute remise à zéro de l'espace de numéro de séquence) effectuer alors les étapes de traitement de nouveau numéro de séquence ci-dessous, ou autrement effectuer les étapes de traitement de l'ancien numéro de séquence.

10.7.5.4 Récepteur – Trames LARQ avec erreurs de CRC ou autres

Pour obtenir les meilleurs performances, les implémentations devraient permettre au module de protocole LARQ de traiter les trames erronées, comme celles qui comportent des erreurs de CRC de charge utile. Cela permettra dans de nombreux cas d'envoyer les indications de Nack plus rapidement dans la mesure où le récepteur n'aura pas à attendre la prochaine trame pour détecter la perte. En même temps, cela donne une seconde chance de détecter les trames perdues à la fin d'une séquence, alors qu'un Rappel ultérieur aurait été la seule protection.

Si les trames erronées sont utilisées, elles ne doivent l'être que pour la détection d'un très petit nombre de numéros de séquence manquants pour un canal existant (de préférence une trame manquée). En particulier, s'il apparaît que la trame erronée a un en-tête LARQ valide, et que l'adresse MAC de source, l'adresse MAC de destination et la priorité/ID de flux de l'en-tête LARQ correspondent à un canal logique existant, et si le numéro de séquence est (Numéro de séquence + 1), traiter alors cette trame comme trame de contrôle de rappel pour les besoins du traitement. Les trames de contrôle de rappel sont toujours abandonnées après traitement.

Dans tous les autres cas, abandonner la trame erronée sans autre traitement. Ne pas établir de nouveau canal si la trame a une erreur. Ne pas envoyer de retransmission si une trame de contrôle de Nack a une erreur. Ne pas rétablir un canal (pour les besoins du numéro de séquence) pour une trame erronée.

10.7.5.5 Récepteur – Nouveau numéro de séquence

Si une trame a une erreur indiquée par un pilote de couche inférieure, telle qu'une erreur de CRC, et que le numéro de séquence de la trame est quelque chose de différent de (Numéro de séquence en cours + 1), abandonner alors la trame sans autre traitement. Autrement, traiter la trame comme trame de contrôle de rappel.

Si la différence entre le nouveau numéro de séquence de la trame reçue et le numéro de séquence manquant le plus ancien est supérieure à (Limite de réception maximale – 1), répéter alors les étapes suivantes jusqu'à ce que la limite acceptable soit atteinte.

Annuler le temporisateur de retransmission Nack et le temporisateur de trame perdue pour les numéros de séquence manquants les plus anciens.

S'il y a une trame sauvegardée pour le prochain numéro de séquence, livrer alors les trames en séquence à la couche suivante jusqu'à atteindre le prochain numéro de séquence avec une trame manquante (qui peut être le prochain numéro de séquence attendu pour le canal, (Numéro de séquence en cours + 1)). La valeur du champ Priorité/ID de flux provenant de l'en-tête LARQ pour chaque trame est livrée à la couche suivante avec chaque trame associée. La méthode de spécification de la Priorité/ID de flux à la couche suivante dépend de l'implémentation et sort du domaine d'application de la présente Recommandation.

Si le numéro de séquence est le prochain numéro de séquence attendu (Numéro de séquence en cours + 1) et si la trame est une trame de données valide et s'il n'y a pas de numéro de séquence manquant plus ancien, envoyer alors la trame jusqu'à la couche suivante.

Si le numéro de séquence est plus récent que le (Numéro de séquence en cours + 1), ou est un rappel pour (Numéro de séquence en cours + 1), envoyer alors une ou plusieurs trames de contrôle de Nack demandant la retransmission de la ou des trames manquantes.

L'adresse de destination pour le Nack sera l'adresse de source de la trame reçue. L'adresse de source sera l'adresse MAC de cette station. L'adresse de destination de la trame reçue doit être placée dans le champ adresse de destination d'origine (NACK_DA) dans l'en-tête de trame de contrôle de Nack LARQ. Le fanion Retransmission multiple doit être mis à 0. Le [premier] numéro de séquence manquant doit être placé dans le champ numéro de séquence. La priorité pour la trame de contrôle NACK doit être la même que la priorité pour le canal.

Si des trames de contrôle de Nack multiples doivent être envoyées, c'est le numéro de séquence le plus ancien qui doit être envoyé en premier.

Pour chaque numéro de séquence manquant, un temporisateur de retransmission de Nack doit être lancé, réglé pour expirer à temps en cours plus Intervalle de retransmission de Nack.

Pour chaque numéro de séquence manquant, un temporisateur de trame perdue doit être lancé, réglé pour expirer à temps en cours plus Intervalle de garde maximal.

Si la trame est une trame de données valide et n'a pas été livrée à la couche suivante, la sauvegarder.

Si la trame est une trame de rappel (ou une trame de données erronée) l'abandonner.

Avancer le Numéro de séquence en cours au numéro de séquence de la trame reçue.

10.7.5.6 Récepteur – Ancien numéro de séquence

Si le numéro de séquence est le même que le Numéro de séquence en cours, ou plus ancien, il ne doit pas alors générer de trames de contrôle, bien qu'il puisse lui-même être abandonné, mis en garde ou repassé à la couche supérieure suivante, causant peut-être aussi l'envoi d'autres trames en garde. Il peut causer l'annulation d'un temporisateur de retransmission de Nack ou d'un temporisateur de trame perdue associé à ce numéro de séquence.

Si la trame n'est pas une bonne trame de données (par exemple, mauvais CRC), ou que son numéro de séquence est plus ancien que celui de la plus ancienne trame manquante, ou qu'il a déjà été reçu (c'est une retransmission dupliquée), ou c'est une trame de rappel, abandonner la trame et omettre le traitement ultérieur de cette trame.

Annuler le temporisateur de retransmission de Nack et le temporisateur de trame perdue pour le numéro de séquence.

Si la séquence n'est pas le numéro de séquence manquant le plus ancien, sauvegarder la trame.

Si le numéro de séquence est le numéro de séquence manquant le plus ancien, livrer alors la trame à la couche supérieure suivante. S'il y a une trame sauvegardée pour le numéro de séquence suivant, livrer alors les trames en séquence à la couche au-dessus jusqu'à atteindre le prochain numéro de séquence avec une trame manquante (qui peut être le prochain numéro de séquence attendu pour le canal). La valeur du champ Priorité/ID de flux provenant pour chaque trame de l'en-tête LARQ doit être livrée à la couche suivante avec chaque trame associée. La méthode de spécification de la priorité/ID de flux à la couche suivante dépend de l'implémentation et est en dehors du domaine d'application de la présente Recommandation.

10.7.5.7 Récepteur – Expiration du temporisateur de retransmission de Nack

Si un temporisateur de retransmission de Nack arrive à expiration, envoyer alors une autre trame de contrôle de Nack pour le numéro de séquence associé. La priorité pour la trame de contrôle NACK doit être la même que la priorité pour le canal. Des numéros de séquence multiples peuvent recevoir un accusé de réception négatif au même moment, si leur temporisateur arrive à expiration au même moment.

Le fanion Retransmission multiple doit être mis à 1 pour les trames de contrôle de Nack envoyées par suite de l'expiration du temporisateur de retransmission.

Alors qu'il n'y a pas de limite explicite sur le nombre de trames de contrôle de Nack envoyées pour un numéro de séquence particulier, le temporisateur de Nack doit être annulé si la trame va être reçue ou si le numéro de séquence va être déclaré perdu.

10.7.5.8 Récepteur – Expiration du temporisateur de trames perdues

Le temporisateur de trames perdues dépend de l'implémentation. Son objet est d'établir une limite supérieure à la durée de conservation des trames avant qu'elles ne soient envoyées lorsqu'une trame

est réellement perdue. S'il est réglé à une valeur trop longue, des ressources du réseau peuvent être gaspillées sur les trames de contrôle de NACK envoyées pour des trames que l'expéditeur ne retransmettra jamais sur le canal. De plus, des temporisateurs de couche de transport supérieure peuvent aussi être impliqués. La valeur par défaut de 150 ms est fortement suggéré comme limite supérieure.

A expiration, le numéro de séquence doit être déclaré perdu, en résultat de l'annulation du temporisateur de retransmission de Nack et du temporisateur de trame perdue pour le numéro de séquence. S'il y a une trame sauvegardée pour le prochain numéro de séquence, envoyer alors les trames en séquence jusqu'au prochain numéro de séquence avec une trame manquante (qui peut être le prochain numéro de séquence attendu pour le canal).

Si les temporisateurs de trames perdues pour des numéros de séquence multiples expirent au même moment, les temporisateurs sont alors traités en séquence du plus ancien au plus récent.

10.7.5.9 Récepteur – Temporisateur d'oubli

Le temporisateur d'oubli est un mécanisme dépendant de l'implémentation qui permet à un récepteur de rétablir l'espace de numéro de séquence d'un canal lorsqu'un numéro de séquence reçu n'est pas le prochain attendu (Numéro de séquence en cours + 1) et qu'un délai relativement long s'est écoulé depuis la dernière trame reçue sur le canal. Une fois ce délai expiré, un récepteur devrait accepter tout numéro de séquence inhabituel comme prochain numéro de séquence attendu, permettant des rétablissements non détectés à d'autres stations, la déconnexion du réseau, etc. La définition de "numéro de séquence inhabituel" dépend de l'implémentation, mais signifie généralement tout ancien numéro de séquence ou tout nouveau numéro de séquence qui n'est pas proche du numéro de séquence en cours, où "proche" est 1 ou un autre petit entier. Une valeur par défaut de une seconde est suggéré.

10.7.5.10 Récepteur – Gestion de ressources

En général, le récepteur devrait établir des limites supérieures au nombre de trames en garde par canal et au nombre de trames en garde sur les canaux. Les limites peuvent varier sur la base de la priorité/ID de flux du canal.

Les intervalles de temporisation peuvent varier sur la base de facteurs tels que la priorité/ID de flux du canal, ou d'intervalles mesurés pour des retransmissions réussies.

La description ci-dessus suggère des temporisateurs par numéro de séquence. Ceci n'a qu'un caractère descriptif, et n'implique aucun mécanisme d'implémentation.

10.8 Formats spécifiques du fabricant

Les deux types de format suivants (voir les Tableaux 10-20 et 10-21) permettent des extensions spécifiques du fabricant qui peuvent être raisonnablement tenues par les implémentations qui ne les prendraient autrement pas en charge. Le format court spécifique du fabricant permet des messages de contrôle courts et des en-têtes d'incorporation, alors que le sous-type de format long permet une extension exigeant des messages plus longs.

Tableau 10-20/G.9954 – Trame courte spécifique du fabricant

Champ	Longueur	Signification
DA	6 octets	Adresse de destination
SA	6 octets	Adresse de source
Ethertype	2 octet	0x886c (trame de contrôle de liaison PNT)
SSType	1 octet	= SUBTYPE_VENDOR_SHORT (5)

Tableau 10-20/G.9954 – Trame courte spécifique du fabricant

Champ	Longueur	Signification
SSLength	1 octet	Nombre d'octets supplémentaires dans l'en-tête de contrôle, commençant avec le champ SSVersion et se terminant par le second (dernier) octet du champ Next Ethertype. SSLength doit être ≥ 6 pour SSVersion 0.
SSVersion	1 octet	= 0
Vendor OUI	3 octets	Identifiant unique d'organisation alloué par l'IEEE
Control data	0-249 octets	Données de contrôle spécifiques du fabricant
Next Ethertype	2 octets	= next Ethertype en format d'incorporation, ou 0 sans trame incorporée.
Pad	0-38 octets	Octet de n'importe quelle valeur
FCS	4 octets	
CRC-16	2 octets	Séquence de vérification de trame PNT

Tableau 10-21/G.9954 – Trame longue spécifique du fabricant

Champ	Longueur	Signification
DA	6 octets	Adresse de destination
SA	6 octets	Adresse de source
Ethertype	2 octet	0x886c (trame de contrôle de liaison PNT)
LSType	2 octets	= SUBTYPE_VENDOR_LONG (32769)
LSLength	2 octets	Nombre d'octets supplémentaires dans l'en-tête de contrôle, commençant avec le champ SSVersion et se terminant par le second (dernier) octet du champ Next Ethertype. SSLength doit être > 6 pour LSVersion 0.
LSVersion	1 octet	= 0
Vendor OUI	3 octets	Identifiant unique d'organisation alloué par l'IEEE
Control data	1-65531 octets	Données spécifiques du fabricant
Next Ethertype	2 octets	= prochain Ethertype en format d'incorporation, ou 0 sans trame incorporée.
Pad	40-0 octets	Si nécessaire pour faire une trame de taille minimale. Devrait être zéro.
FCS	4 octets	
CRC-16	2 octets	Séquence de vérification de trame PNT

10.9 Protocole de certification et de diagnostics de PNT

10.9.1 Domaine d'application

Ce protocole est nécessaire pour les nœuds conformes à G.9954 qui sont soumis aux essais de certification. L'utilisation de ce protocole par les nœuds G.9954 est exigée.

Les appareils soumis aux essais de certification comme PNT ont seulement besoin d'implémenter la partie serveur du protocole. La même implémentation de pilote devrait être utilisée à la fois pour les essais de certification et les appareils en production. Cependant, pour les appareils qui ont des contraintes de ressources strictes, le protocole de certification et de diagnostic peut être implémenté dans un pilote spécial qui ne sert que pour les essais de certification.

10.9.2 Aperçu général

Le protocole de certification et diagnostic PNT est conçu pour fournir le cadre nécessaire aux essais des systèmes qui fournissent des interfaces PNT. Plus précisément, il vise à fournir un ensemble commun de fonctionnalités nécessaires (équivalentes à cert_tool.exe et à la fonctionnalité UDP de epi_ttcp) pour les essais de certification tout en minimisant l'impact sur la conception des systèmes. Ce protocole est une composante d'une solution qui devrait fournir une interface de contrôle et d'essai qui permette l'exécution et le rapport d'une suite d'essais de certification complète, indépendamment de l'implémentation de l'appareil soumis aux essais.

La présente Recommandation spécifie le protocole lui-même, et ne vise pas les détails de l'utilisation du protocole pour un essai spécifique ou une fonction de diagnostic. De tels détails dépendent du ou des essais spécifiques qui sont effectués (par exemple, essais de certification PNT contre diagnostics de réseau) qui sont en dehors du domaine d'application de la présente Recommandation.

Le protocole est conçu pour être indépendant du système de fonctionnement et de la plate-forme, et il est destiné à prendre en charge les essais de certification, avec de possibles extensions pour prendre en charge des diagnostics de l'ensemble du réseau, du développement de système et des essais de fabrication et de QA.

En bref, le terme "cert" sera utilisé pour se référer au protocole G.9954 de certification et de diagnostics.

Toute activité cert (trames de contrôle et de données) est restreinte au segment physique soumis aux essais. Il n'y a pas de support pour effectuer cert au moyen d'une autre interface. Toutes les trames de contrôle reçues sur une interface ne sont pertinentes que pour cette interface.

10.9.3 Contrôle

Un nœud sur le réseau est le contrôleur de protocole, que l'on désignera par la suite comme le "client". Le client initialise et coordonne toute l'activité de certification et de diagnostic. La partie client du protocole ne devrait être activée que sur un seul nœud dans un réseau à un moment donné.

Tous les autres nœuds sur le réseau sont des "serveurs". Ils traitent les demandes provenant du client en ajustant leur configuration comme indiqué par le client, ou en générant et en collectant des trames de données de cert selon la demande du client. Les nœuds client devraient aussi fournir toutes les fonctionnalités d'un serveur. Généralement, le serveur sera implémenté au sein du pilote de l'appareil pour les nœuds PNT, mais il peut être mis en œuvre à une couche supérieure sur tout appareil du réseau en supposant que les trames de contrôle de liaison PNT (LCF) peuvent être passées par le serveur de et vers le pilote de l'appareil. Afin de minimiser l'impact sur les ressources système, la fonctionnalité de serveur du protocole cert est destinée à être aussi minimale et directe que possible. Les trames cert sont groupées en deux catégories: trames de contrôle et trames de données. Les trames de contrôle sont utilisées pour configurer les nœuds et collecter les informations provenant des nœuds. Les trames de données sont utilisées pour tester les capacités d'émission et de réception des nœuds. Les trames de demande de contrôle ne sont générées que par le client. Les serveurs génèrent des réponses aux demandes de contrôle, et génèrent des trames de données selon les directives du client.

Les serveurs doivent répondre aux demandes de contrôle dans les 5 secondes. Les serveurs doivent réaliser tous les changements de configuration (par exemple, changements de mode PNT) lancés par la demande de contrôle dans les 5 secondes de la réception de la demande de contrôle.

Les appareils soumis aux essais de certification PNT qui utilisent ce protocole doivent implémenter la partie serveur du protocole. L'implémentation de la partie client du protocole n'est pas requise. Les trames cert ne doivent pas être relayées par un nœud.

Les trames de contrôle devraient être envoyées avec une priorité 7 de couche Liaison (LL). Les trames de données doivent être envoyées à la priorité/ID de flux LL spécifiée par le client lors de l'initialisation de la transmission des données. Si un protocole d'incorporation quelconque (par exemple, LARQ) est activé sur un nœud, les trames de données doivent être envoyées avec la ou les incorporations activées pour faciliter l'essai de la ou des implémentations du protocole. Les trames de contrôle peuvent être incorporées. Les clients et les serveurs cert doivent être capables de désincorporer les trames de contrôle cert dans la même mesure qu'on leur demande de désincorporer les trames de données. Les nœuds PNT doivent être capables de retirer un en-tête d'incorporation de trame de contrôle de liaison de format court des trames de contrôle cert.

10.9.4 Format de trame

Les trames Cert utilisent le format de base de trame de contrôle de couche Liaison PNT (LCF) défini dans "Spécification d'interface pour les protocoles de couche Liaison de technologie PNT". Un seul format de trame de sous-type long est défini avec une structure d'en-tête commune utilisée avec toutes les trames cert et un nombre variable de segments de commande ou de données (voir Tableau 10-22):

Tableau 10-22/G.9954 – Format de trame de certification et diagnostic

Champ	Longueur	Signification
DA	6 octets	Adresse de destination
SA	6 octets	Adresse de source
Ethertype	2 octets	0x886c (trame de contrôle de liaison PNT)
LSType	2 octets	= SUBTYPE_CERT (32770)
LSLength	2 octets	Nombre des octets supplémentaires dans l'en-tête de contrôle, commençant par le champ LSVersion et finissant avec le second (dernier) octet du champ Next Ethertype. Le minimum est 6 pour LSVersion 0.
LSVersion	1 octet	= 0
OpCode	1 octet	Ensemble de segment de commande utilisé dans cette trame
Réservé	4 octets	
Cert_Seq	2 octets	Numéro de séquence de trame
CommandData	0-1486 octets	Données de commande, peut être vide, ou contenir un ou plusieurs segments de commande, ou un segment de données.
Next Ethertype	2 octets	= 0
Pad	40-0 octets	Devrait être zéro
FCS	4 octets	
CRC-16	2 octets	Séquence de vérification de trame PNT

Les segments de commande utilisent le format indiqué au Tableau 10-23:

Tableau 10-23/G.9954 – Format de segment de commande

Champ	Longueur	Signification
CSType	2 octets	Type du segment de commande
CSLength	2 octets	Nombre d'octets dans le champ CSPayload. Les valeurs valides sont nominalement 0-1482. Cependant, pour certaines valeurs de CSType le champ CSLength est fixé. Les 3 bits hauts sont réservés dans la version 0; ils doivent être envoyés avec 0 et ignorés à réception.
CSPayload	0-1482 octets	Informations spécifiques de la commande. Peut être vide.
CSPad	0-3 octets	Si présent, doit être envoyé avec 0, ignoré à réception. Aligner les segments de commande suivants sur les limites de 32 bits. Doit être présent si CSLength n'est pas un multiple de 4.

Les segments de données utilisent le format indiqué au Tableau 10-24:

Tableau 10-24/G.9954 – Format de segment de données

Champ	Longueur	Signification
DSType	2 octets	Type du segment de données
DSLength	2 octets	Nombre d'octets dans le champ CSPayload. Les valeurs valides sont nominalement 1-1482. Les 3 bits hauts sont réservés dans la version 0; ils doivent être envoyés avec 0 et ignorés à réception.
DSPayload	1-1482 octets	Données

Les réponses d'un serveur peuvent s'étaler sur plusieurs trames, mais les segments de commande individuels ne doivent pas s'étendre au delà des frontières de trame.

Lorsque plusieurs segments de commande sont présents dans une trame, ils doivent être envoyés dans l'ordre ascendant des valeurs d'étiquette.

Tous les segments de commande doivent être alignés sur des limites de 4 octets. Tous les segments de commande doivent être bourrés jusqu'à atteindre un multiple de 4 octets. Les segments de données ne doivent pas être bourrés, et ne doivent pas être combinés avec des segments de commande.

10.9.5 Opcodes

Les nœuds serveurs génèrent les opcodes du Tableau 10-25:

Tableau 10-25/G.9954 – Opcodes de nœud serveur

Mnémonique	Opcode
OK	0x00
ERROR	0x01
TESTDATA	0x02
SAMPLEDATA	0x03

Les nœuds clients génèrent les opcodes du Tableau 10-26:

Tableau 10-26/G.9954 – Opcodes de nœud client

Mnémonique	Opcode
ENABLECERT	0x08
DISABLECERT	0x09
CONFIGNODE	0x10
CONFIGSEND	0x11
STARTSEND	0x12
STOPSEND	0x13
ECHOREQUEST	0x14
CONFIGRECV	0x15
STOPRECV	0x16
REPORTSTATS	0x17
REPORTCONFIG	0x18
RESETSTATS	0x19
REPORTNODE	0x20
STARTSAMPLE	0x30
VENDOR	0x40

10.9.6 Segments de commande

Les segments de commande figurent en groupes (voir le Tableau 10-27), avec le ou les Opcodes qui les utilisent précédant chaque groupe.

Tableau 10-27/G.9954 – Groupes de segments de commande

Mnémonique	CSType	CSLen	Valeurs de CSPayload	Description
Opcode: ERROR				
ERRORCODE	0x0001	1	1-8	Indice indiquant l'erreur dans la liste: 1 UNK 2 UNSUP_OP 3 INVALID_PARAM 4 UNSUP_CMDSEG 5 UNSUP_DGEN 6 INVALID_SEQ 7 INVALID_TRAME 8 INVALID_OP
Opcodes: OK(REPORTCONFIG) OK(REPORTSTATS) OK(REPORTNODE)				
INFOREPLY	0x0002	2	Deux valeurs de 8 bits	Nombre de trames de réponse – 1, plus indice de la trame en cours (commence à 0).

Tableau 10-27/G.9954 – Groupes de segments de commande

Mnémonique	CSType	CSLen	Valeurs de CSPayload	Description
Opcodes: STARTSEND STOPSEND STOPRECV				
REFSEQ	0x0005	2	Toutes	La valeur de REFSEQ contient la valeur de Cert_Seq d'une commande précédente.
Opcode: FABRICANT				
OUI	0x0023	3	IEEE OUI	Les commandes du fabricant son renvoyées avec ce segment de commande en premier.
Opcodes: CONFIG_NODE OK (en réponse à REPORTCONFIG)				
TXPE	0x0010	1	1-7 9-15 (facultatif) 255 (par défaut)	PE fixée, négociation de débit désactivée. PE fixée, négociation de débit désactivée. Négociation de débit activée.
TXPRI	0x0011	1	0-7 255 (par défaut)	Priorité PHY d'émission fixée. Utiliser la priorité LL, négocier la mappage de priorité via CSA.
LINKINT	0x0012	1	0 1 (par défaut)	Intégrité de liaison désactivée. Intégrité de liaison activée.
TXMODE	0x0013	1	0 1 (par défaut) 2	Désactiver toutes transmissions. Activer toutes transmissions. Activer seulement les transmissions de trame de contrôle de liaison PNT.
HPNAMODE	0x0016	1	0 (par défaut) 1 2 3 (facultatif) 4 5 (facultatif) 6 7	Commutation automatique entre modes. Réservé pour utilisation ordinaire. Force le mode G.9951/2 (Gabarit spectral n° 1). Réservé pour utilisation ordinaire. Réservé pour utilisation ordinaire. Réservé pour utilisation ordinaire. Force le mode Gabarit spectral n° 2. Force le mode Gabarit spectral n° 3.
LARQ (facultatif)	0x0020	1	0 1	LARQ désactivé (mais sans en-tête). LARQ activé
CSA (facultatif)	0x0021	1	0 1	CSA désactivé CSA activé

Tableau 10-27/G.9954 – Groupes de segments de commande

Mnémonique	CSType	CSLen	Valeurs de CSPayload	Description
CSAHPNAMODE (facultatif)	0x0022	1	0 (par défaut) 1 2 3	N'établir aucun fanion de configuration de mode dans les messages CSA. Réservé pour utilisation ordinaire Etablir le fanion ConfigG.9951/2 dans les messages CSA. Réservé pour utilisation ordinaire.
Opcodes: STARTSAMPLE				
SAMPLE	0x0030	14	Adresse MAC	Octet 0-5: SA du canal
			Adresse MAC	Octet 6-11: DA du canal
			0 = aucun 1 = GAP 2 = PREAMBLE	Octet 12: type d'essai
			0	Octet 13: réservé – doit être mis à zéro par l'émetteur et ignoré par le récepteur.
Opcodes: CONFIGSEND CONFIGRECV				
DGEN_TYPE	0x0084	1	1,2	Générateur de données utilisé pour le segment de données des trames. Voir le § 10.9.17.
DGEN_DATA	0x0085	4	Toutes	Valeur d'initialisation pour le générateur de données. Voir le § 10.9.17.
LENGTH	0x0086	2	1-1482	Longueur du segment de données des trames à envoyer.
SA	0x0081	6	Adresse MAC en monodiffusion	Adresse MAC du nœud qui sera la source des trames de données (généralement l'adresse MAC du récepteur de la demande CONFIGSEND).
DA	0x0083	6	Toute adresse MAC	Adresse MAC du ou des nœuds qui seront récepteurs des trames de données. Un total de dix segments DA peut être présent, et doit être accepté.
Opcode: CONFIGSEND				
NPKTS	0x0087	4	Toutes (par défaut = 0)	Nombre total de paquets à envoyer. 0 signifie envoyer les trames en continu jusqu'à réception d'une demande STOPSEND.
BURST_INT	0x0088	2	Toutes (par défaut = 0)	Intervalle entre le débit des rafales en ms. 0 signifie envoyer les trames sans arrêt.

Tableau 10-27/G.9954 – Groupes de segments de commande

Mnémonique	CSType	CSLen	Valeurs de CSPayload	Description
BURST_NPKTS	0x0089	2	!=0 (par défaut = 1)	Nombre de paquets à envoyer par rafale.
NUMACKS	0x008a	1	!=0 (par défaut = 1)	Nombre de trames ACK et EOT à envoyer. (Voir le § 10.9.10.2.)
TXPE_TEST	0x008b	1	1-7 9-15 (facultatif) 255 (par défaut)	PE fixé, négociation de débit désactivée. PE fixé, négociation de débit désactivée. Négociation de débit activée. Ne s'applique qu'aux trames d'essai générées par le serveur.
TXPRI_TEST	0x008c	1	0-7 255 (par défaut)	Priorité PHY d'émission fixée. Utiliser la priorité LL, négocier la mappage de priorité via CSA. Ne s'applique qu'aux trames d'essai générées par le serveur.
Opcode: OK (en réponse à REPORT_STATS)				
RECV_NPKTS	0x0105	4	Toutes	Nombre total de trames de données reçues sans erreurs, trames EOT non incluses.
RECV_NBYTES	0x0106	4	Toutes	Nombre total d'octets de données reçus sans erreurs
RECV_SEQ_MISS	0x0107	4	Toutes	Nombre de trames de données manquantes détectées via des trous dans les numéros de séquence
RECV_SEQ_ERR	0x0108	4	Toutes	Nombre de trames de données reçues avec un numéro de séquence non attendu
RECV_DATA_ERR	0x0109	4	Toutes	Nombre de trames de données reçues avec une corruption de données détectée
RECV_FCS_ERR	0x010c	4	Toutes	Nombre de trames reçues avec des erreurs de FCS
RECV_HDR_ERR		4	Toutes	Nombre de trames reçues avec des erreurs d'en-tête détectées
RECV_ERR	0x010a	4	Toutes	Nombre de trames avec d'autres erreurs de réception
RECV_ELAPSED_TIME	0x010b	4	Toutes	Temps écoulé de l'essai de réception en ms
XMT_NPKTS	0x0101	4	Toutes	Nombre total de trames de données envoyées sans erreur rapportées par les couches inférieures (par exemple, collisions excessives), trames EOT non incluses.

Tableau 10-27/G.9954 – Groupes de segments de commande

Mnémonique	CSType	CSLen	Valeurs de CSPayload	Description
XMT_NBYTES	0x0102	4	Toutes	Nombre total d'octets de données envoyés sans erreur
XMT_NERRS	0x0103	4	Toutes	Nombre d'erreurs d'émission rapportées par les couches inférieures résultant en trames perdues (par exemple, collisions excessives).
XMT_ELAPSED_TIME	0x0104	4	Toutes	Temps d'émission écoulé en ms
Opcode: OK (en réponse à REPORTNODE)				
PRIMARY_ID	0x8301	4	Toutes	Identifiant primaire de fabricant/appareil
SUBSYSTEM_ID	0x8302	4	Toutes	Identifiant de sous-système de fabricant/appareil
MAC_ADDRESS	0x8303	6	Toutes	Adresse MAC IEEE de 48 bits
SERIAL_NUM	0x8304	≤16	ASCII	
DEVICE_TYPE	0x8305	1	0-24	Indice indiquant le type d'appareil: 0 Autre 1 PCI NIC (inclut miniPCI, Cardbus) 2 USB NIC 3 Pont de modem câble 4 Pont de modem DSL 5 Pont sans fil haut débit 6 Pont V90 7 Pont autonome 8 Routeur de modem câble 9 Routeur de modem DSL 10 Routeur sans fil haut débit 11 Routeur V90 12 Routeur autonome 13 Appareil audio 14 Appareil vidéo 15 Appareil à disque 16 Appareil CD/DVD 17 Appareil de secours 18 Décodeur numérique du câble 19 Décodeur numérique de satellite 20 Imprimante 21 Serveur d'impression 22 Scanneur 23 FAX 24 Téléphone
VEND_NAME	0x8306	≤32	ASCII	
VEND_DRIVER	0x8307	≤16	ASCII	

Tableau 10-27/G.9954 – Groupes de segments de commande

Mnémonique	CSType	CSLen	Valeurs de CSPayload	Description
VEND_DATE	0x8308	4	TBD	
MANUF_DATE	0x8309	4	TBD	
TIMER_GRAN	0x830a	2	1-1000	Résolution du temporisateur en ms

10.9.7 Segments de données

Les segments de données figurent par groupes (voir le Tableau 10-28), avec le ou les Opcodes qui les utilisent précédant chaque groupe.

Tableau 10-28/G.9954 – Groupes de segments de données

Mnémonique	CSType	CSLen	Valeurs de CSPayload	Description
Opcodes: TESTDATA ECHOREQUEST OK (en réponse à ECHOREQUEST)				
DATA	0x8108	1-1482	Toutes	Données
Opcode: TESTDATA				
EOT	0x8109	0	N/A	Fin de transmission: marque la fin de la transmission de données du serveur
Opcode: SAMPLEDATA				
SAMPLES	0x8133	1-1482	Adresse MAC	Octet 0-5: adresse de source du canal
			0-65535	Octet 6-7: nombre total d'échantillons en essai
			0-65535	Octet 8-9: indice du premier échantillon de ce segment.
			0 aucun 1 GAP 2 PREAMBLE	Octet 10: type d'essai (à partir de CSPayload du segment de commande)
			0	Octet 11: réservé pour utilisation future. Doit être mis à zéro par l'émetteur et ignoré par le récepteur.
			Echantillons…	Octet 12 à (DSLength-13): échantillons algébriques de 16 bits

10.9.8 Utilisation des Opcodes par le serveur

10.9.8.1 OK

Les messages Opcode OK *(accord)* sont générés en réponse à des demandes de contrôle qui sont menées à bien. Les messages Opcode OK contiennent un nombre variable de segments de commande, selon la demande de contrôle. Les messages Opcode OK avec zéro segment de commande sont appelés messages "OK vide".

Le champ Cert_Seq dans le message OK doit être mis à la valeur du champ Cert_Seq d'après la demande de contrôle.

Si plusieurs messages OK sont générés en réponse à une demande à une seule commande, le segment de commande INFOREPLY doit être le premier segment dans chaque trame de réponse. Un segment de commande INFOREPLY peut être inclus comme premier segment de commande lorsqu'un seul message OK est généré.

10.9.8.2 ERROR

Les messages Opcode ERROR *(erreur)* sont générés en réponse à des demandes de contrôle qui sont mal formées, non comprises, ou ne pourraient pas être menées à bien. Le champ Cert_Seq dans le message ERROR doit être réglé à la valeur du champ Cert_Seq d'après la demande de contrôle. Les messages Opcode ERROR doivent contenir un ou deux segments de commande. Le premier segment de commande doit avoir le CSType = ERRORCODE. Le second segment de commande, s'il est présent, doit être un segment de commande ERRORPOINTER avec CSPayload qui contient les quatre premiers octets (CSType et CSLength) du premier segment de commande qui a causé le problème, s'il peut être identifié.

10.9.8.3 TESTDATA

Les trames Opcode TESTDATA *(données d'essai)* servent à mesurer les caractéristiques de performances (par exemple, le taux d'erreur de trame) ou de l'implémentation (par exemple, la livraison dans l'ordre des trames LARQ incorporées) des nœuds en cours d'essai, et elles sont normalement envoyées entre deux serveurs. Le champ Cert_Seq dans les messages TESTDATA commence normalement à 0 pour chaque essai, et augmente d'un à chaque trame TESTDATA suivante envoyée au titre de cet essai.

Les messages Opcode TESTDATA doivent contenir un seul segment de données avec DSType = DATA ou segment de commande avec CSType = EOT.

10.9.8.4 SAMPLEDATA

Les trames Opcode SAMPLEDATA *(données d'échantillon)* servent à prendre en charge une analyse spectrale d'un canal PNT du serveur A au serveur B du point de vue du serveur B. A réception de la commande STARTSAMPLE, la source du canal en essai doit envoyer un message d'intégrité de liaison de couche Liaison à la destination du canal. La destination du canal doit envoyer au serveur un ou des segments de données SAMPLES (*échantillons*) contenant des échantillons d'une valeur de 32 symboles en utilisant le débit d'échantillon d'origine. Si les échantillons s'étalent sur plus d'un segment de données, les segments devraient alors être envoyés dans l'ordre ascendant des indices d'échantillon.

Lorsque le type d'essai est PREAMBLE, les échantillons doivent représenter les symboles 25 à 56 du préambule pour la trame reçue de la source du canal.

Lorsque le type d'essai est GAP, les échantillons doivent représenter une période dans l'intervalle inter trame qui commence 8 microsecondes après la réception de la trame.

10.9.9 Utilisation d'Opcode par le client

10.9.9.1 ENABLECERT

Au démarrage, ou à réception d'une demande DISABLECERT *(désactiver cert)* , les serveurs doivent être en mode "cert disabled". En mode "cert disabled", le nœud doit ignorer silencieusement toutes les trames cert reçues excepté les demandes DISABLECERT et ENABLECERT *(activer cert)* jusqu'à réception d'une demande ENABLECERT sans erreur. Après la réception d'une demande ENABLECERT, le nœud doit vérifier le format de la trame reçue. Si aucune erreur n'est détectée, le nœud doit passer (ou rester) en mode "cert activé" et répondre par un message OK vide.

Si une erreur est détectée dans le format de trame, le nœud doit répondre par un message ERROR et ne doit pas changer de mode.

10.9.9.2 DISABLECERT

A réception d'une demande DISABLECERT, les serveurs doivent vérifier le format de la trame reçue. Si aucune erreur n'est détectée, les nœuds doivent répondre par un message OK vide, passer (ou rester) en mode "cert disabled", et ignorer en silence toutes les trames cert reçues suivantes excepté les demandes DISABLECERT et ENABLECERT. Si on détecte une erreur dans le format de trame, le nœud doit répondre par un message ERROR et ne doit pas changer de mode.

10.9.9.3 CONFIGNODE

Les messages Opcode CONFIGNODE peuvent contenir exactement un des segments de commande suivants:

- TXPE;
- TXPRI;
- LINKINT;
- TXMODE;
- HPNAMODE;
- LARQ;
- CSA;
- CSAHPNAMODE.

Tous les serveurs doivent prendre en charge les segments de commande TXPRI, LINKINT, et TXMODE. Tous les serveurs doivent prendre en charge les réglages de TXPE de 1 à 7 et 255. Les serveurs doivent prendre en charge les réglages de TXPE de 9 à 15 si, et seulement si, ils sont capables de transmettre des charges utiles au débit de 4 Mbaud. Tous les serveurs doivent prendre en charge les réglages HPNAMODE 0, 2, 6 et 7. Les serveurs doivent prendre en charge le segment de commande LARQ si, et seulement si, ils acceptent le protocole LARQ. Les serveurs doivent prendre en charge les segments de commande CSA et CSAHPNAMODE si, et seulement si, ils acceptent le protocole CSA.

Si un serveur reçoit une demande CONFIGNODE avec un segment de commande non valide ou non accepté, il doit répondre par un message ERROR. Autrement, il doit répondre par un message OK vide.

10.9.9.4 CONFIGSEND

Ces segments de commande doivent être fournis dans une demande CONFIGSEND, dans l'ordre de la liste:

- DGEN_TYPE;
- DGEN_DATA;
- LENGTH;
- SA;
- DA.

DA est le seul CSType d'une demande CONFIGSEND *(configuration d'envoi)* qui peut être répété, et s'il est répété, tous les segments DA doivent être contigus. Les implémentations doivent accepter au moins dix segments de commande DA dans une demande CONFIGSEND. Les segments de commande CONFIGSEND ne doivent être envoyés qu'à des adresses en monodiffusion.

Le générateur de trafic est responsable de la production des données dans les trames, de la taille des trames, et de la distribution des trames dans le cas de DA multiples. Le générateur le plus

communément utilisé est à données fixées, à trames de longueur fixée, et distribution en round robin à toutes les DA.

Les segments de commande suivants sont facultatifs dans une demande CONFIGSEND, mais s'ils sont présents, ils doivent être envoyés dans l'ordre de la liste:

- NPKTS;
- BURST_INT;
- BURST_NPKTS;
- NUMACKS;
- TXPE_TEST;
- TXPRI_TEST.

Si le serveur ne peut pas fournir la résolution impliquée par BURST_INT, les valeurs doivent alors être arrondies à la valeur la plus proche que peut fournir le serveur.

Si BURST_INT n'est pas spécifié ou est à 0, le nœud d'envoi des données doit générer des trames aussi vite que possible sans abandonner de trame du côté émission.

Si NPKTS n'est pas spécifié ou est à 0, le nœud d'envoi des données doit générer des trames de données jusqu'à réception d'une demande STOPSEND *(arrêter l'envoi)*.

Le nœud de réception doit répondre par un message ERROR si des paramètres non pris en charge (ou des valeurs non acceptées de paramètres acceptés) sont inclus dans la demande CONFIGSEND, si le nœud de réception est déjà engagé dans le processus d'envoi des trames de données cert d'un ensemble de demandes CONFIGSEND/STARTSEND précédent, si plus d'une CONFIGSEND est reçue avant la réception d'une demande STARTSEND, ou si la SA dans la demande CONFIGSEND n'est pas l'adresse MAC du nœud de réception. Autrement, le nœud de réception doit rétablir les compteurs d'émission dont la liste figure au § 10.9.11, établir tous paramètres facultatifs non inclus dans la demande CONFIGSEND à leurs valeurs par défaut, et répondre par un message OK vide.

10.9.9.5 STARTSEND

Les demandes STARTSEND *(début d'envoi)* contiennent un ou plusieurs segments de commande de CSType = REFSEQ. Chaque valeur de REFSEQ correspond à la valeur de Cert_Seq d'une demande CONFIGSEND produite précédemment. Les nœuds de réception doivent suivre le protocole défini au paragraphe 10.9.10.2.

10.9.9.6 STOPSEND

Les demandes STOPSEND contiennent un ou plusieurs segments de commande de CSType = REFSEQ. Chaque valeur de REFSEQ correspond à la valeur de Cert_Seq d'une demande CONFIGSEND qui a créé un flux de données. Lorsqu'un serveur reçoit une demande STOPSEND, il compare la ou les valeurs Cert_Seq de la demande à la valeur Cert_Seq de la dernière demande CONFIGSEND qu'il a reçu. S'il n'y a pas de correspondance, le serveur doit répondre par un seul message OK, contenant un segment de commande de CSType = REFSEQ avec la valeur Cert_Seq qui correspond. Si une demande STOPSEND est reçue alors que les trames de données sont en cours d'envoi, le nœud d'émission doit arrêter l'envoi des trames de données. S'il n'y a pas de correspondance, ou si le nœud n'a pas reçu de demande CONFIGSEND, il doit alors ignorer la demande en silence.

10.9.9.7 ECHOREQUEST

Les trames ECHOREQUEST contiennent un seul segment de données DSType = DATA. Le client remplit le champ DSPayload avec les données pour lesquelles il souhaite recevoir un écho (de 1 à 1482 octets), et établit le champ DSLength en conséquence. Le récepteur doit répondre par un

message OK contenant une copie du segment de données provenant de la commande ECHOREQUEST.

10.9.9.8 CONFIGRECV

Ces segments de commande doivent être fournis dans une demande CONFIGRECV, dans l'ordre de la liste:

- DGEN_TYPE;
- DGEN_DATA;
- LENGTH;
- SA;
- DA.

DA est le seul CSType d'une demande CONFIGRECV qui puisse être répété, et s'il est répété, tous les segments DA doivent être contigus. Les segments de commande CONFIGRECV ne peuvent être envoyés qu'à des adresses en monodiffusion.

Le nœud de réception doit répondre par un seul message ERROR si un paramètre non accepté (ou une valeur non acceptée d'un paramètre accepté) est inclus dans la demande CONFIGRECV, ou si son adresse MAC n'apparaît dans aucun segment de commande de DA. Autrement, le nœud de réception doit rétablir la liste des compteurs de réception figurant au § 10.9.11, établir tout paramètre facultatif non inclus dans la demande CONFIGRECV à sa valeur par défaut, et répondre par un message OK vide.

10.9.9.9 STOPRECV

Les demandes STOPRECV comportent un ou plusieurs segments de commande de CSType = REFSEQ. Chaque valeur de REFSEQ correspond à la valeur de Cert_Seq provenant d'une demande CONFIGRECV qui créait un flux de données. Lorsqu'un serveur reçoit une demande STOPRECV, il compare la ou les valeurs de Cert_Seq dans la demande à la valeur de Cert_Seq de la dernière demande CONFIGRECV qu'il a reçu. S'il y a correspondance, le serveur doit immédiatement calculer le temps écoulé depuis le début de l'essai, ou si aucune trame de données n'a été reçue, régler le temps écoulé à zéro, et répondre par un seul message OK, contenant un segment de commande de CSType = REFSEQ avec la valeur de Cert_Seq qui correspondait. Toutes les trames de données ultérieures reçues doivent être ignorées. S'il n'y a pas de correspondance, ou si le nœud n'a pas reçu de demande CONFIGRECV, il doit alors ignorer la demande en silence.

10.9.9.10 REPORTSTATS

Le récepteur doit répondre par un message OK contenant les compteurs dont la liste figure au § 10.9.11, dans l'ordre de la liste de ce paragraphe. Les compteurs ne doivent pas être rétablis après le rapport, au cas où la réponse serait perdue et où le client aurait besoin de répéter la commande REPORTSTATS. Le message de réponse doit commencer par un segment de commande INFOREPLY, suivi par des segments de commande pour chacun des compteurs requis.

10.9.9.11 REPORTCONFIG

Le récepteur doit répondre avec un message OK contenant les réglages en cours pour les paramètres de configuration dont la liste figure au paragraphe 10.9.9.3. Le message de réponse doit commencer par un segment de commande INFOREPLY, suivi par des segments de commande pour chacun des paramètres requis. Les segments de commande doivent être envoyés dans l'ordre de la liste du § 10.9.9.3. Les cinq premiers paramètres de configuration doivent faire l'objet d'un rapport, alors que les trois derniers, LARQ, CSA, et CSAHPNAMODE, ne doivent faire l'objet d'un rapport que s'ils sont pris en charge.

10.9.9.12 RESETSTATS

Le récepteur doit rétablir tous les compteurs dont la liste figure au § 10.9.11 et répondre par un message OK vide.

10.9.9.13 REPORTNODE

Le récepteur doit répondre par un message OK contenant les informations fixées appartenant au nœud, tels que les identifiants, les versions de logiciel/matériel, etc. Les trames de réponse doivent toutes commencer par un segment de commande INFOREPLY, suivi par des segments de commande de la liste ci-après, envoyés dans l'ordre de la liste:

- PRIMARY_ID;
- SUBSYSTEM_ID;
- MAC_ADDRESS;
- SERIAL_NUM;
- DEVICE_TYPE;
- VEND_NAME;
- VEND_DRIVER;
- VEND_DATE;
- MANUF_DATE;
- TIMER_GRAN.

10.9.9.14 STARTSAMPLE

Le client doit initialiser l'échantillonnage du canal en envoyant un segment de commande SAMPLE. La DA de la trame de certification et diagnostics doit être BROADCAST. Le client doit alors attendre que tous les segments de données "SAMPLES" arrivent. L'application devrait utiliser une temporisation appropriée pour le cas où le ou les serveurs ne répondent pas.

10.9.9.15 VENDOR

Cet opcode permet aux fabricants d'implémenter un ensemble de fonctions privées. Le premier segment de commande doit être CSType = OUI avec CSPayload réglé au OUI du fabricant. Un nœud recevant une demande de commande spécifique du fabricant avec un OUI qui ne correspond pas à un OUI qu'il comprend doit retourner un message d'erreur INVALID_PARAM. Le comportement des nœuds qui reçoivent une demande de commande spécifique du fabricant correspondant à OUI est à la discrétion du fabricant, et sort du domaine d'application de la présente Recommandation.

10.9.10 Protocole de demande de contrôle

10.9.10.1 Demandes de contrôle générales

Toutes les demandes de contrôle autres que STARTSEND et VENDOR suivent un protocole simple: le client envoie une demande d'une seule trame, et le serveur répond par une ou plusieurs trames – toutes les trames de contrôle envoyées par le client sont explicitement "acquittées" soit par OK soit par ERROR ou SAMPLEDATA dans le cas de STARTSAMPLE. Dans la plupart des cas, une seule trame est générée. Chaque trame de contrôle générée par le client doit être envoyée avec un accroissement monotone de valeur (ignorant le report) pour Cert_Seq. Le champ Cert_Seq dans les trames d'accusé de réception provenant des nœuds serveurs utilise la valeur Cert_Seq provenant de la demande de contrôle pour s'assurer que le client peut correctement identifier quelle réponse reçoit l'accusé de réception. Le client doit être responsable du traitement des demandes non acquittées, par exemple, en renvoyant la demande après une certaine temporisation, avec un délai possible entre les tentatives. La non réception d'un accusé de réception peut signifier que la trame

d'origine de la demande a été perdue, ou que l'accusé de réception a été perdu. Pour toutes les demandes définies courantes, excepté STARTSEND, il n'y a pas d'impact négatif au renvoi d'une demande. La valeur de temporisation utilisée par le client dépend de la demande spécifique formulée. Pour les commandes de configuration, on devrait utiliser une temporisation de 50 ms. Le comportement du client si des échecs répétés surviennent dépend des objectifs du client (essais de certification ou diagnostic du réseau) et n'est pas spécifié ici.

Dans le cas d'une demande REPORTSTATS ou REPORTCONFIG, un certain nombre (≥1) de trames de réponse est généré par le serveur. Le premier segment de commande de toutes les trames de réponse envoyées en réponse aux demandes REPORTSTATS, REPORTCONFIG et REPORTNODE doit être un segment de commande INFOREPLY indiquant le nombre total de trames à envoyer et le numéro relatif à la trame en cours.

Les segments de commande suivants contiennent les données qui sont retournées par le serveur.

Toutes les trames de réponse sont envoyées avec la valeur Cert_Seq réglée au Cert_Seq provenant de la demande du client. Le client doit être responsable de la réception de toutes les trames et de la reformulation de la demande si une trame est perdue.

10.9.10.2 Protocole pour les demandes de contrôle STARTSEND

Un protocole quelque peu différent doit être utilisé pour les demandes STARTSEND afin de fournir un flux ininterrompu de trames de données durant un essai. Après avoir formulé les demandes CONFIGRECV et CONFIGSEND appropriées pour configurer tous les nœuds, le client envoie une demande STARTSEND avec une liste de segments de contrôle du type REFSEQ, chacune contenant le Cert_Seq d'une demande CONFIGSEND précédente. Tout nœud attendant une demande STARTSEND (c'est-à-dire ceux qui ont reçu une CONFIGSEND mais n'ont pas encore reçu une demande STARTSEND) qui reçoit une demande STARTSEND recherche dans la liste des segments de contrôle de REFSEQ dans la demande STARTSEND une valeur de Cert_Seq qui corresponde au numéro de séquence provenant de la demande CONFIGSEND. Si aucune correspondance n'est trouvée, le serveur ignore en silence la demande STARTSEND. Si une correspondance est trouvée, le nœud envoie les réponses de contrôle NUMACKS OK au client avec un segment de contrôle REFSEQ contenant la valeur de Cert_Seq de la demande CONFIGSEND. Le serveur envoie alors les trames de données demandées aux adresses de destination. Le champ Cert_Seq dans les trames de données commence à zéro, et augmente de un (modulo 2^16) pour chaque trame de données envoyée. Après l'envoi de toutes les trames de données, le serveur envoie alors les trames de données NUMACKS avec le type de segment de commande EOT, avec la CSValue réglée au numéro de séquence de la demande CONFIGSEND à chacune des adresses de destination. A réception de la trame EOT, le ou les nœuds de destination mesurent le temps écoulé pour l'envoi des données et suppriment toute trame de données reçue après l'EOT. La trame EOT ne doit pas être comptée dans les statistiques de réception. Un schéma temporel d'un essai de données normal est indiqué à la Figure 10-6.

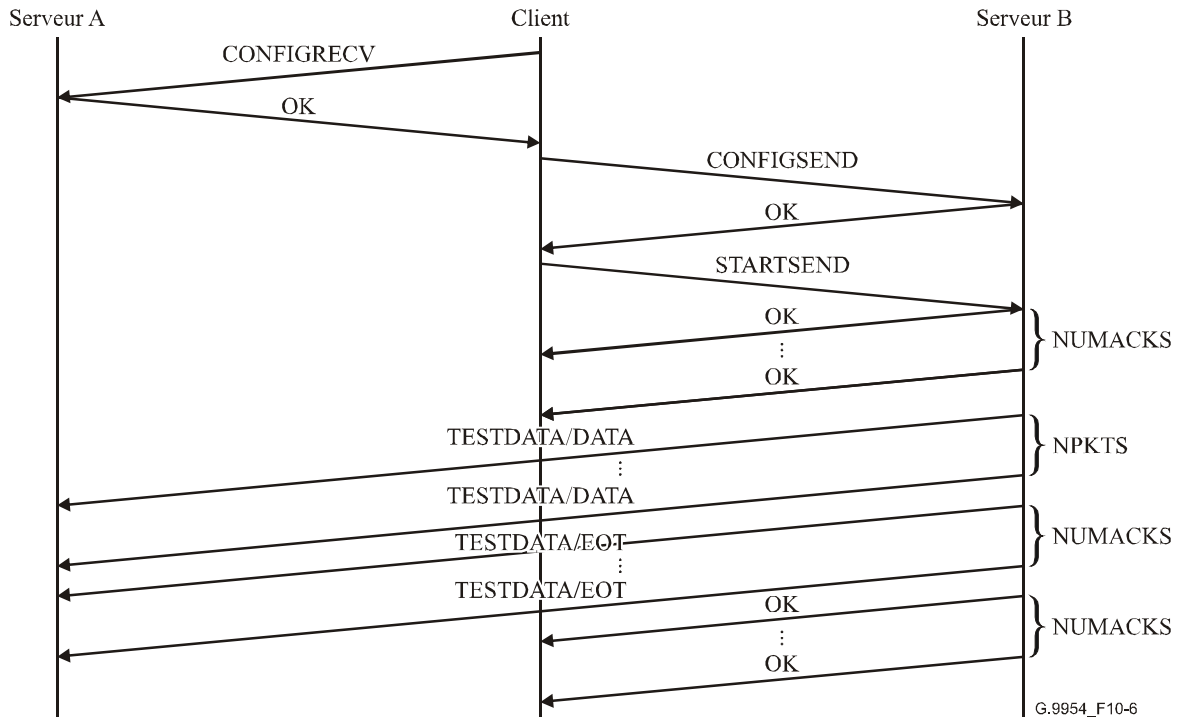

Figure 10-6/G.9954 – Schéma temporel du protocole pour les essais de données

Le serveur envoie alors les trames de réponse à contrôle OK NUMACKS avec le type de segment de commande EOT, avec CSValue réglé au numéro de séquence de la demande CONFIGSEND au client.

Si aucune priorité d'émission n'a été configurée, les trames de données sont alors envoyées avec la priorité LL par défaut de 0, et les trames de réponse de contrôle au client sont envoyées avec la priorité LL de 7. Le serveur devrait s'assurer que toutes les trames de données (y compris les trames EOT) ont été envoyées sur le câble avant l'envoi au client des trames de réponse à contrôle.

Si un serveur reçoit une demande STARTSEND dupliquée pour une demande CONFIGSEND donnée (indiquant que le client n'a reçu aucune des réponses de contrôle OK NUMACKS initiales), le serveur doit retourner une trame ERROR au client. Le client doit être responsable de la production de toute demande STOPSEND nécessaire, de la reconfiguration des nœuds en tant que de besoin, et du redémarrage de l'essai.

Pour les demandes STARTSEND, la temporisation qui devrait être utilisée par le client lorsqu'il cherche les accusés de réception initiaux est de 50 ms. La temporisation pour les accusés de réception finaux (ceux renvoyés au client après l'envoi des trames qui contiennent les segments EOT) doit être calculée sur la base de la quantité de données transmise et le plus mauvais cas de débit pour l'essai.

10.9.10.3 Protocole pour les demandes de contrôle VENDOR

Le protocole pour les demandes de contrôle VENDOR est à la discrétion du fabricant, et sort du domaine d'application de la présente Recommandation.

10.9.11 Statistiques

10.9.11.1 Compteurs de réception

Les compteurs suivants doivent être entretenus par un serveur recevant des trames de données, et rapportés en réponse à une commande REPORTSTATS:

- RECV_NPKTS;

- RECV_NBYTES;
- RECV_SEQ_MISS;
- RECV_SEQ_ERR;
- RECV_DATA_ERR;
- RECV_FCS_ERR;
- RECV_HDR_ERR;
- RECV_ERR;
- RECV_ELAPSED_TIME.

10.9.11.2 Compteurs d'émission

Les compteurs suivants doivent être entretenus par un serveur recevant des trames de données, et rapportés en réponse à une commande REPORTSTATS:

- XMT_NPKTS;
- XMT_NBYTES;
- XMT_NERRS;
- XMT_ELAPSED_TIME.

Tous les compteurs doivent être entretenus et faire rapport avec 32 bits.

Le temps écoulé doit être mesuré de l'émission ou la réception de la première trame de données jusqu'à l'émission ou la réception de la première trame EOT.

10.9.12 Traitement par le récepteur des trames de contrôle

Les trames avec des erreurs de HCS, FCS ou CRC-16 ne sont pas utilisées par cert. Comme certaines implémentations peuvent exister en tant que couche distincte au-dessus du pilote de l'appareil, il n'y a pas de garantie dans les implémentations que les trames ayant ces erreurs atteignent la couche cert. Et donc pour la cohérence, toutes les implémentations de cert doivent ignorer les trames reçues avec de telles erreurs.

10.9.13 Traitement par le récepteur des trames de données

Pour chaque trame de données reçue:

- si DGEN_TYPE et DGEN_DATA étaient spécifiées dans la demande CONFIGRECV, le récepteur génère une copie locale du paquet en utilisant le générateur de données et la compare aux données du paquet reçu. Si les données ne correspondent pas, le récepteur incrémente recv_data_err. Si aucune erreur n'est détectée, le récepteur incrémente recv_npkts;
- le récepteur suit les numéros de séquence des trames reçues et incrémente RECV_SEQ_MISS pour toutes trames manquées (en fonction des trous dans les numéros de séquence) et incrémente RECV_SEQ_ERR pour toutes les trames reçues hors séquence.

La logique suivante doit être utilisée pour incrémenter recv_seq_miss et recv_seq_err:

```
if (((received_seq - expected seq) & 2^15) != 0) recv_seq_err++;
else {
     recv_npkts++;
     if (received_seq == expected_seq) expected_seq = (expected_seq + 1) %
     2^16;
     else {
          if (received_seq > expected_seq) recv_seq_miss += (received_seq -
          expected_seq);
```

```
            else recv_seq_miss += (2^16 + received_seq - expected_seq);
            expected_seq = (received_seq + 1) % 2^16;
        }
    }
```

Les trames dupliquées incrémenteront aussi recv_seq_err.

10.9.14 Exigences générales

Les nœuds serveurs devraient être capables de générer et de collecter des trames de données simultanément, mais ne sont pas obligés de le faire. Les serveurs doivent être capables de traiter la réception et le traitement des trames de contrôle tout en envoyant des trames de données. La présente version du protocole ne spécifie pas la prise en charge simultanée de la génération de multiples flux de données ou de la réception et validation de multiples flux de données.

10.9.15 Temporisation

La résolution de toutes les temporisations (horodatage et intervalles d'envoi) devrait être de 10 ms, et ne doit pas être de plus de 50 ms. Les exigences de gigue doivent être de ±10 % de la résolution fournie.

10.9.16 Codes d'erreur

On a défini les codes d'erreur suivants:

Tableau 10-29/G.9954 – Codes d'erreur

Mnémonique	Valeur
UNK	1
UNSUP_OP	2
INVALID_PARAM	3
UNSUP_CMDSEG	4
UNSUP_DGEN	5
INVALID_SEQ	6
INVALID_FRAME	7
INVALID_OP	8

10.9.17 Générateurs de données

10.9.17.1 DGEN_TYPE = 1

Les 4 octets de DGEN_DATA spécifiés dans la demande CONFIGSEND sont répliqués, en tant que groupe, pour remplir la longueur de la charge utile. Si la longueur de la charge utile n'est pas un multiple de 4, les octets restants sont remplis avec la portion de DGEN_DATA qui convient. Par exemple, si DGEN_DATA = 0x01020304 et que la longueur de la charge utile est 11, la charge utile doit alors être remplie avec 0x01020304010203040102 03.

Si le nombre des adresses de destination est supérieur à un, les trames générées sont multiplexées aux nœuds de destination dans l'ordre selon lequel elles figurent dans la liste de la demande CONFIGSEND.

10.9.17.2 DGEN_TYPE = 2

L'octet de plus faible poids de DGEN_DATA doit être utilisé pour initialiser un compteur à 8 bits. Les octets de charge utile doivent être remplis en séquence avec la valeur du compteur, et le compteur doit être incrémenté de un par octet de charge utile. Par exemple, si DGEN_DATA = 0xf9 et que la longueur de la charge utile est de 11, la charge utile doit alors être remplie avec

0xf9fafbfcfdfeff00010203. Si le nombre des adresses de destination est supérieur à un, les trames générées sont alors multiplexées aux nœuds de destination dans l'ordre où elles figuraient sur la liste de la demande CONFIGSEND. Les trois octets de plus fort poids doivent être envoyés à zéro et ignorés à réception.

10.10 Extensions de mise en trame de couche Liaison

Le présent paragraphe des spécifications de couche Liaison décrit comment les extensions des formats de trame sont réalisées.

En plus, sont définies deux extensions des trames de contrôle CSA pour la prise en charge de l'utilisation des caractéristiques facultatives et/ou étendues entre stations compatibles. La première extension est une liste de sous-types de trame LCP facultatifs pris en charge par l'implémentation (au delà des quatre types PNT de la version de base). Les nouveaux types de trame, tels que celui pour une trame codée en Reed Solomon, devraient être annoncés par les stations qui les implémentent, permettant à une simple "négociation" deux à deux de prendre en charge les types facultatifs. La seconde extension est un format standard de paramètres d'annonce associés à un dispositif d'extension.

Enfin, le présent paragraphe ajoute quelques règles supplémentaires en ce qui concerne la conception et l'utilisation des protocoles LCP nouveaux/révisés, y compris quelques directives concrètes sur les longueurs d'en-tête LCP et des restrictions d'alignement.

10.10.1 Définitions

10.10.1.1 données imbriquées: normalement une charge utile d'une trame Ethernet/802.3, au sein de la structure définie pour un en-tête de sous-type LCP, qui peut être codé, d'une façon qui exige la compréhension de la structure pour extraire la charge utile d'origine. (C'est-à-dire que la charge utile d'origine est incorporée à l'en-tête LCP.)

10.10.1.2 charge utile imbriquée: données codées au sein d'un en-tête d'imbrication, normalement la charge utile d'une trame Ethernet/802.3 commençant par le champ Type/Longueur.

10.10.1.3 en-tête d'imbrication: en-tête qui contient une charge utile imbriquée, pour laquelle la fonction de l'en-tête doit être comprise pour utiliser les données incluses.

10.10.1.4 en-tête d'incorporation: en-tête qui peut être retiré sans autre traitement (par exemple, un en-tête LARQ), laissant quelque chose d'utile, normalement une charge utile de trame Ethernet/802.3. Un en-tête d'incorporation a un champ Next Ethertype différent de zéro.

10.10.1.5 incorporer: insérer un en-tête LCP dans une trame, avant le champ Type/Longueur d'origine, sans modifier le reste de la trame. Le retrait de l'en-tête restaure la trame dans son état d'origine. (C'est-à-dire que la charge utile d'origine suit l'en-tête LCP.)

10.10.1.6 étiquette Longueur Valeur (**TLV, *tag length value***): type de structure consistant en un identifiant alloué, l'étiquette, suivie d'un champ Longueur spécifiant la taille des données à suivre, suivi par la valeur (données) elle-même.

10.10.2 Mécanisme d'extension

Les extensions aux formats de trame existants doivent être ajoutées en utilisant le codage d'étiquette-longueur-valeur (TLV), avec les étiquettes allouées par le PNT. Le format de TLV a des versions courtes et longues. Le format court a une étiquette de 8 bits et un champ de 8 bits de long, alors que le format long a une étiquette de 16 bits et une longueur de 16 bits. Le format court utilise des valeurs d'étiquette de 1 à 127, et le long format utilise des valeurs d'étiquette de 32768 à 65535, avec le bit de plus fort poids de l'octet de plus fort poids du champ Etiquette qui distingue les deux formats.

Les valeurs d'étiquette sont allouées indépendamment pour chaque SSType ou LSType LCP à partir de la totalité de la gamme des valeurs. (C'est-à-dire que les gammes se chevauchent). La valeur d'étiquette 0x00 est explicitement réservée comme valeur de bourrage, dont l'utilisation est décrite ci-dessous.

Lorsque les blocs de TLV sont ajoutés, ils doivent précéder le champ Next Ethertype et suivre tout autre champ non codé en TLV. La définition de nouvelles extensions de TLV pour un sous-type particulier n'oblige pas automatiquement à allouer une nouvelle version de SSVersion (ou LSVersion). Toutes les implémentations doivent ignorer les blocs de TLV inconnus. Une fois la première extension de TLV définie pour un sous-type particulier, toutes les extensions à ce sous-type à l'avenir nécessiteront le codage de TLV, y compris toutes additions permanentes aux futures versions.

Le champ SSVersion ou LSVersion doit être incrémenté lorsqu'une extension permanente est définie pour toute future version d'un sous-type LCP, ou lorsqu'un champ anciennement réservé dans la partie permanente d'un sous-type est définie comme étant utile au sein du protocole. Le champ version ne devrait pas être incrémenté pour des extensions facultatives.

10.10.3 Restrictions sur la taille de l'en-tête, et bourrage LCP

Tous les en-têtes d'incorporation LCP de G.9954, de format long ou court, doivent avoir des longueurs qui soient des multiples de 4 octets (32 bits). La valeur d'étiquette réservée de 0x00 doit être utilisée comme bourrage au sein de la partie TLV d'un en-tête LCP pour assurer l'alignement des champs demandé (voir le paragraphe suivant) et garantir que la longueur totale de l'en-tête LCP est un multiple de 4 octets. Cette exigence minimise le coût du traitement des trames par les protocoles de couche supérieure lorsque les en-têtes sont retirés.

Il est demandé de plus que tous les expéditeurs assurent un alignement naturel des valeurs de 16 bits et de 32 bits telles que mesurées depuis le début du champ SSType ou LSType. Un, deux ou trois octets de bourrage (de valeur 0) doivent être utilisés chaque fois que le bourrage est nécessaire pour aligner un champ suivant.

10.10.4 Prise en charge demandée

10.10.4.1 Prise en charge des extensions LCP facultatives

Les stations qui prennent en charge G.9954 doivent utiliser l'extension CSA de sous-type accepté pour annoncer leur prise en charge des sous-types LCP facultatifs, y compris les sous-types d'en-tête imbriqué, les nouveaux sous-types d'en-tête de contrôle et les sous-types d'incorporation autres que LARQ.

Pour tous les sous-types en réception, les stations doivent ignorer les extensions inconnues, lorsqu'elles sont présentes, et doivent traiter normalement toutes les extensions connues comme si aucune extension inconnue n'était présente.

10.10.4.2 Utilisation des en-têtes d'incorporation

Les stations doivent être capables de retirer un en-tête d'incorporation inconnu et de traiter le reste de la trame comme si l'en-tête d'incorporation inconnu n'était pas présent. Cependant, les stations ne doivent pas ajouter d'en-tête d'incorporation, exception faite pour l'en-tête LARQ standard de 8 octets, à moins que tous les récepteurs de la trame ne soient connus pour accepter des longueurs de trame assez longues pour s'accommoder de la taille de message étendue qui résulte de la présence de l'en-tête d'incorporation. De plus, les en-têtes d'incorporation autres que l'en-tête LARQ ne devraient être envoyés que si des auditeurs actifs de la DA de la trame sont connus pour accepter ce type. Auditeur actif est défini dans la spécification du protocole de couche Liaison de G.9954.

Une station n'est considérée comme acceptant G.9954 ou plus haut que si un message CSA indiquant qu'un état a été reçu de la station dans les deux dernières minutes. Les stations en sommeil ne génèrent normalement pas de message CSA, et vont donc tomber des rangs de celles qui sont "connues pour être G.9954 ou plus haut", demandant que du trafic ultérieur soit envoyé avec les limitations de capacité par défaut de G.9954 supposées pour les nœuds de réception (par exemple, la taille par défaut de MTU) afin d'assurer un comportement de réveil raisonnable.

Cela signifie que les en-têtes d'incorporation autres que les en-têtes LARQ de huit octets ne doivent pas être utilisés pour le trafic de diffusion ou multidiffusion à moins que des messages CSA pour chaque auditeur actif du groupe de diffusion ou multidiffusion n'indiquent la prise en charge de longueur de MTU suffisante pour s'accommoder de la taille de message étendue qui résulte de la présence de l'en-tête d'incorporation. Une "station sur le câble" est une station PNT qui envoie des trames d'intégrité de liaison. L'adresse MAC de source utilisée dans les trames d'intégrité de liaison identifie la station. Si aucun message CSA n'a été récemment reçu (durant les deux dernières minutes) avec la même adresse MAC de source, la station doit alors être en sommeil, et être traitée comme G.9954 (Voir au § 10.6.5).

Les stations ne doivent pas ajouter de sous-type d'en-tête d'incorporation LCP autre que l'en-tête LARQ de huit octets si aucun auditeur actif de la trame n'accepte de longueur de MTU suffisante pour s'accommoder de la taille de message étendue résultant de la présence de l'en-tête d'incorporation. Lorsque tous les auditeurs actifs indiquent des tailles de MTU suffisantes, une station ne devrait pas ajouter un sous-type d'en-tête d'incorporation LCP autre que l'en-tête LARQ sauf si au moins un auditeur actif est reconnu pour accepter le sous-type via l'extension CSA de sous-types pris en charge.

Les stations ne devraient pas envoyer de trame de contrôle LCP aux stations non reconnues comme prenant en charge le sous-type. Si l'adresse de destination MAC est une adresse de groupe multidiffusion/diffusion, au moins un auditeur actif doit alors être reconnu comme comprenant le sous-type.

10.10.4.3 Utilisation des en-têtes d'imbrication

Les stations ne devraient pas envoyer une trame LCP avec une charge utile imbriquée à moins que tous les auditeurs actifs ne soient reconnus comme comprenant le sous-type (via la réception de la part de tous les récepteurs de l'extension des nouveaux sous-types acceptés aux trames de contrôle CSA avec le sous-type d'imbrication).

10.10.5 Formats d'extension de TLV

Tableau 10-30/G.9954 – Extension de TLV de format court

Champ	Longueur	Signification
SETag	1 octet	1 à 127. Valeur d'étiquette allouée pour l'extension
SELength	1 octet	Longueur totale de l'extension de TLV excluant les octets d'étiquette et longueur. Le minimum est 0, le maximum est 255.
SEData	0-255 octets[a)]	Données supplémentaires pour l'extension.
[a)] Limité par l'espace disponible dans le format de trame de couche Physique ou de liaison.		

SELength ne doit pas être utilisé comme indicateur de la version d'information présente dans la partie SEData du TLV.

Tableau 10-31/G.9954 – Extension de TLV de format long

Champ	Longueur	Signification
LETag	2 octets	32768 à 65535. Valeur d'étiquette allouée pour l'extension
LELength	2 octets	Longueur totale de l'extension de TLV excluant les octets d'étiquette et longueur. Le minimum est 0, le maximum est 65526.
LEData	0-65526 octets[a)]	Données supplémentaires pour l'extension.
[a)] Limité par l'espace disponible dans le format de trame de couche Physique ou de liaison.		

LELength ne doit pas être utilisé comme indicateur de la version des informations présentes dans la partie LEData du TLV.

Tableau 10-32/G.9954 – Bourrage, peut être utilisé avec toutes les extensions de TLV

Champ	Longueur	Signification
LCP_Ext_Pad	1 octet	= 0 (LCP_EXT_PAD). Peut être répété jusqu'à trois fois à la suite.

Tableau 10-33/G.9954 – Exemple: trame de format court avec extension de TLV

Champ	Longueur	Signification
DA	6 octets	Adresse de destination
SA	6 octets	Adresse de source
Ethertype	2 octets	0x886c
SSType	1 octet	= x
SSLength	1 octet	Nombre d'octets supplémentaires dans l'en-tête de contrôle, commençant avec le champ SSVersion et se terminant par le second (dernier) octet du champ Next Ethertype. La longueur totale de SSType à Next Ethertype doit être un multiple de 2 (alignement naturel de Next Ethertype) avec SSLength étant un entier pair, ou un multiple de 4 (en-tête d'incorporation) avec SSLength mod 4 égal à 2.
SSVersion	1 octet	= x
Données fixées/connues pour SSVersion		
SETag	1 octet	Valeur d'étiquette allouée pour l'extension
SELength	1 octet	Longueur totale de l'extension de TLV excluant les octets d'étiquette et longueur. Le minimum est 0, le maximum est 255.
SEData	0-255[a)] octets	Données supplémentaires pour l'extension
[Extensions de TLV supplém.]		
[bourrage si nécessaire]	0-3 octets	Doit être zéro
Next Ethertype	2 octets	
[a)] Limité par l'espace disponible dans le format de trame de couche Physique ou de liaison.		

10.10.6 Extensions de CSA

10.10.6.1 Extension de CSA pour les sous-types facultatifs acceptés

L'extension suivante du Tableau 10-34 est définie pour les trames CSA afin de permettre aux implémentations d'indiquer leur prise en charge de chaque sous-type facultatif. Les sous-types facultatifs sont définis comme ceux qui sont définis mais non requis, par certaines versions de la spécification PNT. Au départ, cela inclura tout nouveau sous-type G.9954 pour lequel la prise en charge n'est pas exigée des appareils G.9954. Plutôt que de tenter de conserver un petit espace, tous les types de trame sont traités comme des entiers de 16 bits, envoyés avec l'octet de plus fort poids en premier.

Tableau 10-34/G.9954 – Extension de TLV de sous-type pour CSA

Champ	Longueur	Signification
SETag	1 octet	= CSA_SUBTYPES_TAG.
SELength	1 octet	Longueur totale de l'extension de TLV excluant les octets d'étiquette et longueur. 2 × nombre de sous-types indiqués.
Subtype1	2 octets	Premier sous-type facultatif accepté comme entier de 16 bits (peut être un sous-type court ou long).
[Subtype2,…,n]	2 × (n – 1) octets	Sous-types facultatifs additionnels acceptés par l'implémentation.

10.10.6.2 Extension de CSA pour paramètres de sous-type

L'extension suivante (du Tableau 10-35) est définie pour les trames CSA afin de permettre aux implémentations de faire connaître les paramètres qui leurs sont spécifiques pour les sous-types LCP individuels. Tous les types de trame LCP n'exigent pas de paramètres supplémentaires. La définition des paramètres dépend du sous-type, et sort du domaine d'application de la présente Recommandation.

Tableau 10-35/G.9954 – Extension de TLV de paramètres de sous-type pour CSA

Champ	Longueur	Signification
SETag	1 octet	= CSA_PARAMS_TAG.
SELength	1 octet	Longueur totale de l'extension de TLV excluant les octets d'étiquette et longueur. Le minimum est 3, le maximum est 255.
Subtype	2 octets	Sous-type pour lequel les paramètres supplémentaires sont spécifiés.
Données de paramètre	1 + octets	Données spécifiques de l'implémentation

10.10.6.3 Extension spécifique du fabricant, format court

L'extension suivante (du Tableau 10-36) est définie pour tous les sous-types extensibles.

Tableau 10-36/G.9954 – Extension de TLV de format court spécifique du fabricant

Champ	Longueur	Valeur/Signification
SETag	1 octet	VENDOR_SHORT_TAG
SELength	1 octet	Longueur totale de l'extension de TLV excluant les octets d'étiquette et longueur. Le minimum est 4, le maximum est 255.
SVsOUI	3 octets	Identifiant unique d'organisation alloué par l'IEEE
SvsData	0 à 251 octets[a)]	Données spécifiques du fabricant pour l'extension
[a)] Limité par l'espace disponible dans le format de trame de couche Physique ou de liaison.		

10.10.6.4 Extension spécifique du fabricant, format long

L'extension suivante (du Tableau 10-37) est définie pour tous les sous-types extensibles.

Tableau 10-37/G.9954 – Extension de TLV de format long spécifique du fabricant

Champ	Longueur	Valeur/Signification
LETag	2 octets	VENDOR_LONG_TAG
LELength	2 octets	Longueur totale de l'extension de TLV excluant les octets d'étiquette et longueur. Le minimum est 4, le maximum est 65526.
LVsOUI	3 octets	Identifiant unique d'organisation alloué par l'IEEE
LvsData	0 à 65522 octets[a)]	Données spécifiques du fabricant pour l'extension
[a)] Limité par l'espace disponible dans le format de trame de couche Physique ou de liaison.		

10.10.7 Allocations de sous-type et d'étiquette

Les Tableaux 10-38 et 10-39 donnent la liste des allocations en cours (et prévues) de sous-type LCP et des valeurs d'étiquette pour les extensions LCP.

Tableau 10-38/G.9954 – Allocations de sous-type

Nom de sous-type	Valeur	Utilisation
Réservé	0	Réservée
SUBTYPE_RATE	1	Protocole de demande de débit
SUBTYPE_LINK	2	Protocole d'intégrité de liaison
SUBTYPE_CSA	3	Protocole d'annonce de capacités et d'état
SUBTYPE_LARQ	4	Protocole de demande de répétition automatique limitée
SUBTYPE_VENDOR_SHORT	5	En-tête de format court spécifique du fabricant
SUBTYPE_FRAME_BURSTING	6	Protocole de mise en rafale de trame
SUBTYPE_master_SELECTION	7	Protocole de sélection dynamique de maître
SUBTYPE_TIMESTAMP_REPORT	8	Indication de rapport d'horodatage
Réservé	9-127	Réservé/non alloué
Réservé	128-255	Réservé pour le type de message long
Réservé	32768	Réservé

Tableau 10-38/G.9954 – Allocations de sous-type

Nom de sous-type	Valeur	Utilisation
SUBTYPE_VENDOR_LONG	32769	Sous-type de format long spécifique du fabricant
SUBTYPE_CERT	32770	Protocole de certification
SUBTYPE_RS	32771	En-tête Reed Solomon
SUBTYPE_MAP	32772	Protocole de synchronisation MAP
SUBTYPE_REGISTRATION	32773	Protocole de contrôle (enregistrement) d'admission réseau
SUBTYPE_FLOW_SIGNALLING	32774	Protocole de signalisation de flux
Réservé	32775-65535	Réservé/non alloué

Tableau 10-39/G.9954 – Allocations des étiquettes

Nom de l'étiquette	Valeur	Utilisation
LCP_EXT_PAD	0	Octet seul (pas de champ Longueur), bourrage pour alignement, tous sous-types.
VS_SHORT_TAG	1	Extension spécifique du fabricant, format court, tous sous-types.
CSA_SUBTYPES_TAG	2	Liste des sous-types facultatifs acceptés, seulement CSA.
CSA_PARAMS_TAG	3	Paramètres pour un sous-type, seulement CSA.
CSS_TAG	4	Séquence de signalisation de collision (voir § 10.12), seulement CSA.
RRCF_RS_TAG	2	Extension Reed-Solomon (voir § 10.11.7), Négociation de débit seulement.
RRCF_CID_TAG	3	Extension d'ID de canal logique (voir § 10.4.2), Négociation de débit seulement.
FS_PARAMS_TAG	2	Paramètres de flux (voir § 10.17.1.1), Signalisation de flux seulement.
FS_CLASSIFIER_TAG	3	Filtre de classification de flux (voir § 10.17.1.2), Signalisation de flux seulement.
VS_LONG_TAG	32769	Extension spécifique du fabricant, long format, tous sous-types.

10.10.8 Réservation de sous-types LCP et d'étiquettes de TLV pour usage expérimental

On devrait réserver de petites plages de valeurs de format court et long de sous-type de LCP et d'étiquette d'extension de TLV pour un usage expérimental. La plage suggérée pour les valeurs de format court est de 124 à 126 (3 valeurs), inclus. La plage suggérée pour les valeurs de format long est de 65280 à 65534 (255 valeurs). Ces plages s'appliquent à la fois aux sous-types et aux étiquettes. Ces valeurs sont réservées exclusivement pour les besoins de développement, et ne devraient pas figurer au titre des obligations de conformité d'une implémentation de PNT.

10.11 Codage Reed Solomon avec entrelacement intratrame (facultatif)

Le présent paragraphe décrit l'utilisation d'un code Reed-Solomon facultatif et de l'entrelacement intratrame des octets.

10.11.1 Mots de code Reed-Solomon imbriqués

Les octets de vérification de mot de code Reed-Solomon sont imbriqués au sein du paquet PNT avec un en-tête d'incorporation d'étiquette-Longueur-Valeur (TLV); la charge utile d'origine doit

rester inchangée et va suivre les octets de vérification. Ceci maintient la compatibilité amont avec les nœuds G.9951/2; les nœuds PNT qui n'effectuent pas le décodage RS peuvent ignorer l'en-tête d'incorporation et restaurer la charge utile d'origine (en supposant qu'il n'y a pas d'erreur de transmission).

Les extensions de TLV permettent d'effectuer le codage et décodage Reed-Solomon dans un pilote d'appareil, tant que le matériel récepteur continue d'envoyer des paquets qui échouent à la vérification de FCS et de CRC-16 jusqu'à la couche logique dans le pilote pour des corrections d'erreur possibles.

Si le décodage RS est effectué dans un pilote d'appareil au-dessus du démodulateur PNT, le démodulateur devrait (on dit bien devrait et non doit) aussi passer les valeurs de FCS et de CRC-16 au décodeur RS afin de vérifier que la correction a réussi. Si le FCS et le CRC-16 recalculés échouent après la correction de la charge utile via RS, le récepteur peut souhaiter marquer le paquet comme incorrect et demander une retransmission.

10.11.2 Taille de symboles Reed Solomon

La taille de symbole doit être de 8 bits, résultant d'un code fondé sur GF(256). Ceci limite la taille maximale du mot de code à 255; un paquet PNT peut contenir plusieurs mots de code. Le polynôme primitif et les polynômes générateurs sont identiques à ceux utilisés pour la Rec. UIT-T G.992.1.

L'arithmétique est effectuée dans le Champ de Galois GF(256), où α est un élément primitif qui satisfait le polynôme binaire primitif $x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$. Un octet de données ($d_7$, d_6, ... , d_1, d_0) est identifié avec l'élément de Champ de Galois $d_7\alpha^7 + d_6\alpha^6 \ldots + d_1\alpha + d_0$.

10.11.3 Polynôme générateur

$G(X) = \Pi\ (X + \alpha^i)$, est le polynôme générateur du code Reed-Solomon, où l'indice du produit va de $i = 0$ à $R - 1$. X est un délai d'octet unitaire, et R est le nombre d'octets de vérification par mot de code.

10.11.4 Nombre d'octets de vérification par mot de code: gamme des valeurs

R peut avoir une des valeurs suivantes: 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, ou 20. Les implémentations n'ont pas besoin de coder ou décoder toutes les valeurs autorisées de *R*; lorsque les stations annoncent leur capacité à effectuer le codage ou décodage RS, elles doivent aussi annoncer l'ensemble des valeurs de *R* qu'elles acceptent pour le codage et le décodage.

10.11.5 Entrelacement

Comme la longueur des paquets PNT peut aller de 64 à 1522 et au-delà, un paquet peut contenir plusieurs mots de code. Ces mots de code pourraient être transmis en séquence à l'intérieur d'un seul paquet, mais une meilleure solution est d'entrelacer les mots de code à l'intérieur du paquet, donnant une protection supplémentaire contre les erreurs en rafale.

L'entrelacement doit être appliqué seulement à l'intérieur d'un seul paquet plutôt qu'étalé sur plusieurs paquets. L'entrelaceur repart à zéro au début de chaque paquet.

La gamme de profondeurs d'entrelacement *D* doit être 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64; les profondeurs d'entrelacement varient d'un facteur 2. Une profondeur d'entrelacement de 64 permet une longueur de paquet légèrement supérieure à 16 000 octets, bien que la spécification limite la longueur de paquet à $1024 \times N$ octets où *N* est le nombre de bits par symbole (pour une modulation à 2 Mbaud).

La méthode d'entrelaçage est une simple méthode de blocs écrits par colonne avec le code sur les lignes. L'ordre de transmission des octets de la charge utile d'origine n'est pas affecté; l'entrelaçage est utilisé comme concept pour le calcul des octets redondants.

Exemple d'entrelacement

Un exemple d'entrelacement est donné dans les paragraphes suivants en utilisant une charge utile de paquet de 15 octets, avec $R = 2$ et $D = 4$.

Ci-dessous figure la charge utile d'origine contenant 15 octets de S_1 à S_{15}.

S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8	S_9	S_{10}	S_{11}	S_{12}	S_{13}	S_{14}	S_{15}

Ci-dessous figure une représentation de la charge utile dans une matrice bidimensionnelle; le nombre de rangées est égal à la profondeur d'entrelacement D.

S_1	S_5	S_9	S_{13}
S_2	S_6	S_{10}	S_{14}
S_3	S_7	S_{11}	S_{15}
S_4	S_8	S_{12}	

Il y a maintenant 4 (= D) mots de code. Chaque mot de code RS se lit maintenant sur les rangées; le premier mot de code se compose des octets S_1, S_5, S_9, et S_{13}. Chaque mot de code a au plus 4 octets, ce qui est égal à `ceil`(15/4) ou `ceil`(K/D) où K est égal à la longueur de charge utile, et `ceil`(x) est l'entier minimal plus grand que x; la dernière charge utile a trois octets parce que K n'est pas un diviseur entier de D.

Ci-dessous, les octets de vérification Reed-Solomon sont ajoutés à chaque mot de code. Ces octets de vérification sont étiquetés $C_{\text{codeword-index,checkbyte-index}}$.

S_1	S_5	S_9	S_{13}	$C_{1,1}$	$C_{1,2}$
S_2	S_6	S_{10}	S_{14}	$C_{2,1}$	$C_{2,2}$
S_3	S_7	S_{11}	S_{15}	$C_{3,1}$	$C_{3,2}$
S_4	S_8	S_{12}	$C_{4,1}$	$C_{4,2}$	

Après le calcul des octets de vérification, le paquet peut être transmis. Comme décrit plus haut, les octets de vérification doivent être transmis séparément dans un en-tête d'incorporation qui sera décrit plus en détail ultérieurement. Remarquer que la charge utile est transmise dans l'ordre d'origine des octets.

Ordre de transmission de la charge utile pour cet exemple:

S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8	S_9	S_{10}	S_{11}	S_{12}	S_{13}	S_{14}	S_{15}

L'ordre de transmission des octets de vérification pour cet exemple est:

$C_{1,1}$	$C_{2,1}$	$C_{3,1}$	$C_{4,1}$	$C_{1,2}$	$C_{2,2}$	$C_{3,2}$	$C_{4,2}$

Ordre de transmission des octets de vérification:

En général, les octets de vérification doivent être transmis dans l'ordre suivant: $C_{i,j}$ où i est l'indice de mot de code, j est l'indice d'octet de vérification, et l'indice i (mot de code) varie le plus vite. Si le nombre d'octets de vérification (= $R \times D$) n'est pas un multiple de 4, deux octets à zéro doivent être ajoutés aux octets de vérification de sorte que la charge utile, ou la prochaine extension de TLV, débute sur une limite de quatre octets.

10.11.6 Indication des paramètres de redondance R et D

La longueur des paquets peut varier d'un paquet à l'autre, et la valeur de D peut aussi varier afin d'assurer qu'un mot de code seul n'excède la limite de 255 symboles. De plus, il est souhaitable de donner aux auteurs des implémentations une grande souplesse dans la détermination de la quantité de redondance à fournir. Les deux considérations ci-dessus motivent un mécanisme permettant à l'émetteur de faire varier R et D d'un paquet à l'autre; en général un émetteur peut faire varier R

et *D*, *D* étant choisi afin de limiter la longueur du mot de code, et *R* étant choisi pour fournir la redondance désirée.

Le mécanisme doit transmettre les paramètres *R* et *D* d'une manière efficace, car toute erreur sur *R* ou *D* rendra impossible la correction du paquet tout entier. Le besoin d'efficacité est compliqué par le fait que les paramètres *R* et *D* seront souvent transmis à un débit de charge utile qui est plus élevé à cause du SNR accru du codage RS; les paramètres *R* et *D* devront donc être eux-même transmis de façon redondante. Pour éviter d'obliger tous les émetteurs-récepteurs à disposer d'une capacité minimale de décodage RS, ces paramètres, ainsi que les valeurs d'étiquette, de longueur, et de charge utile sont simplement répétés trois fois; les récepteurs peuvent se prononcer sur les trois ensembles reçus.

Format de l'en-tête de protocole Reed Solomon

La longueur de l'en-tête d'incorporation doit être un multiple de 4 octets, mesurés depuis le champ SSType jusqu'au champ Next Ethertype inclus. L'en-tête consiste en 3 copies du SSType, SSLength, SSVersion, et SSParams, suivies à leur tour par un ensemble d'octets de vérification, suivis par un champ Next Ethertype. L'ensemble des octets de vérification doit être bourré avec des zéros, si nécessaire, pour garantir que la longueur de l'en-tête sera un multiple de 4 octets.

SSVersion a deux champs. Un champ doit être la version du codeur RS utilisé (0 au moment de la présente édition de la Rec. UIT-T G.9954) et un autre champ doit être la longueur du paquet modulo 16. La longueur codée ici est la somme de tous les octets commençant au SSType Reed Solomon et se terminant à la fin de la charge utile que couvre ce codage Reed Solomon, qui devrait être la totalité du paquet G.9954 à l'exclusion du FCS et du CRC-16.

RSParams

Le Tableau 10-40 décrit le format de l'octet RSParams.

Tableau 10-40/G.9954 – Format de l'octet RSParams

Bit 7 (MSB) Bit 4	Bit 3 Bit 0 (LSB)
Champ R	Champ D

Le Tableau 10-41 décrit le codage du champ R.

Tableau 10-41/G.9954 – Codage du champ R

Valeur du champ (Bit 7..Bit 4)	R
0000	0
0001	2
0010	4
0011	6
0100	8
0101	10
0110	12
0111	14
1000	16
1001	18
1010	20

Le Tableau 10-42 décrit le codage du champ D.

Tableau 10-42/G.9954 – Codage du champ D

Valeur du champ (Bit 3..Bit 0)	D
0000	1
0001	2
0010	4
0011	8
0100	16
0101	32
0110	64

Tableau 10-43/G.9954 – Format d'en-tête de TLV, forme longue

Champ	Longueur	Signification
DA	6 octets	Adresse de destination (d'après le PDU Ethernet d'origine)
SA	6 octets	Adresse de source (d'après le PDU Ethernet d'origine)
Ethertype	2 octets	0x886c
LSType	2 octets	SUBTYPE_RS = 32771. Type d'en-tête d'incorporation Reed Solomon (provisoire)
LSLength	2 octets	Nombre d'octets supplémentaires dans l'en-tête RS, commençant au champ SSVersion et finissant avec le second (dernier) octet du champ Next Ethertype.
RSVersion	1 octet	= 0-15, surchargeant la version pour coder la longueur de charge utile modulo 16.
RSParams	1 octet	Paramètres de redondance RS (4 bits chacun pour D, R comme proposé plus haut) Ce champ a deux octets dupliqués.
LSType2	2 octets	Duplicata de LSType
LSLength2	2 octets	Duplicata de LSLength
RSVersion2	1 octet	Duplicata de RSVersion
RSParams2	1 octet	Duplicata de RSParams
LSType3	2 octets	Duplicata de LSType
LSLength3	2 octets	Duplicata de LSLength
SSVersion3	1 octet	Duplicata de RSVersion
RSParams3	1 octet	Duplicata de RSParams
RSCheckBytes	D*R octets (peut être bourré à un multiple de 4)	Matrice des octets de vérification calculés. Ordre de transmission: ($C_{1.1}$, $C_{2.1}$ .. $C_{D.1}$, $C_{1.2}$, $C_{2.2}$ .. $C_{D.2}$, … $C_{1.R}$ ..$C_{D.R}$) Deux octets supplémentaires de zéros peuvent suivre, pour bourrer à un multiple de 4 octets. Le codage de charge utile RS commence avec le prochain champ, normalement "Next_Ethertype".
Next Ethertype	2 octets	D'après le PDU Ethernet d'origine (pourrait être 886c, avec un en-tête LARQ)

Tableau 10-43/G.9954 – Format d'en-tête de TLV, forme longue

Champ	Longueur	Signification
Payload	Min tbd octets	D'après la charge utile de PDU Ethernet d'origine
FCS	4 octets	Séquence de vérification de trame
CRC-16	2 octets	Séquence de vérification de trame PNT

10.11.7 Indication par le récepteur du codage désiré. Extension de TLV au sous-type LCP SUBTYPE_RATE

C'est le récepteur qui surveille le taux d'erreur de paquet, et il est donc le mieux qualifié pour guider le choix de la redondance Reed-Solomon. Ci-dessous est décrit un mécanisme qui amène un récepteur à indiquer à un émetteur distant la redondance désirée. C'est une extension de TLV de la trame de contrôle de demande de débit courante.

Trois paramètres additionnels sont inclus pour chaque bande, l'un est un débit de charge utile amélioré (Bandn_EPR) et les deux autres paramètres indiquent une redondance minimale qui va permettre la transmission à un débit de charge utile amélioré. Le format Band*n*_EPR est le même que celui pour Band*n*_PE de codage non RS.

La redondance minimale est spécifiée par deux octets. Le premier octet spécifie un nombre désiré d'octets redondants par mot de code RS; l'émetteur distant devrait coder toutes les charges utiles avec ce nombre d'octets redondants. Comme le nombre d'octets redondants est un multiple de 2, ce champ doit être codé comme R/2.

Le second octet qui spécifie la redondance désirée est une taille maximale de charge utile par mot de code. L'émetteur distant devrait restreindre la charge utile pour n'excéder jamais cette longueur, en augmentant D si nécessaire.

Noter que SSVersion est 1, pour indiquer que c'est un format différent du format RRCF courant (voir le Tableau 10-44). Ceci ne doit être envoyé que si l'échange de capacités montre que le codage RS est accepté.

Tableau 10-44/G.9954 – Définition de trame de contrôle de demande de débit avec extension Reed Solomon

Champ	Longueur	Signification
DA	6 octets	Adresse de destination
SA	6 octets	Adresse de source
Ethertype	2 octets	0x886c
SSType	1 octet	= 1
SSLength	1 octet	Nombre d'octets supplémentaires dans l'en-tête de contrôle, commençant avec le champ SSVersion et finissant avec le second (dernier) octet du champ Next Ethertype. La valeur minimale de SSLength est 8 pour SSVersion 0.
SSVersion	1 octet	= 0 [1?]
OpCode	1 octet	Code de fonctionnement pour ce message de contrôle. Voir le Tableau 10-6 pour les définitions.
NumBands	1 octet	Nombre de bandes spécifiées dans ce contrôle. […].
NumAddr	1 octet	Nombre d'adresses spécifiées dans la charge utile de ce message de contrôle. NumAddr peut être zéro. […].

Tableau 10-44/G.9954 – Définition de trame de contrôle de demande de débit avec extension Reed Solomon

Champ	Longueur	Signification
Band1_PE	1 octet	Porteuse à 2 Mbaud, 7 MHz: valeur de PE qui devrait être utilisée pour envoyer les données lorsque la bande à 2 Mbaud est choisie. […]
Band1_rank	1 octet	Rang de la préférence de ReqDAs pour cette bande […]
Band2_PE	1 octet	Facultatif, présent seulement si NumBands ≥ 2. […]
Band2_rank	1 octet	Facultatif, présent seulement si NumBands ≥ 2. […]
RefAddr1	6 octets	Facultatif. Présent si NumAddr ≥ 1. […]
RefAddr2	6 octets	Facultatif. Présent si NumAddr ≥ 2. […]
• • •		[instances supplémentaires de RefAddr, jusqu'à ce que le nombre de champs RefAddr égale NumAddr]
SETag	1 octet	= 2. Valeurs RS facultatives pour la négociation de débit.
SELength	1 octet	Longueur totale de l'option excluant les octets d'étiquette de longueur et le bourrage. Doit être 2 + 4 × Numbands; le minimum est 6.
Band1_EPR	1 octet	Débit de charge utile amélioré à utiliser lorsque le codage Reed-Solomon est utilisé à la redondance cible spécifiée dans le champ suivant.
Band1_RSR	1 octet	Nombre d'octets de redondance par mot de code lorsque le codage Reed-Solomon est utilisé.
Band1_Kmax	1 octet	Taille maximale de charge utile par mot de code.
Band1_Pad [suppose Band1_Rdesired]	1 octet	Pour l'alignement et les extensions possibles. = 0 si inutilisé. [Limite supérieure désirée pour le nombre total d'octets redondants, permettant une redondance réduite par mot de code pour des trames plus longues.]
• • •		[Instances supplémentaires de paramètres de codage RS, si Numbands ≥ 2]
Pad	2 octets	Bourrage pour rendre l'en-tête d'incorporation multiple de 4 octets
Next Ethertype	2 octets	= 0
Pad		Pour atteindre minTrameSize si nécessaire
FCS	4 octets	Séquence de vérification de trame
CRC-16	2 octets	Séquence de vérification de trame PNT

10.11.8 Annonces de capacités

La capacité d'une station à coder et décoder les paquets doit être transmise, via les champs membres à la trame CSA dans l'extension d'étiquette CSA_SUBTYPES. Un exemple de cette extension figure au Tableau 10-45.

Tableau 10-45/G.9954 – Exemple d'extension de TLV pour CSA, annonçant la capacité RS

Champ	Longueur	Signification
SETag	1 octet	= CSA_SUBTYPES_TAG.
SELength	1 octet	Longueur totale de l'extension de TLV excluant les octets d'étiquette et de longueur. 2 × nombre de sous-types publié (n).
Subtype	2 octets	SUBTYPE_RS_LONG (32771)
Sous-types supplém.	2 × (n – 2) octets	Sous-types facultatifs supplémentaires acceptés par l'implémentation.

En plus de l'annonce de la prise en charge du sous-type Reed Solomon, les capacités explicites d'une station qui annonce la capacité RS sont envoyées dans une extension des paramètres CSA. Cette indication dans une extension CSA pour les paramètres de sous-type. Le format de cette extension figure dans le Tableau 10-46.

Tableau 10-46/G.9954 – Extension de TLV de paramètres de sous-type RS pour CSA

Champ	Longueur	Signification
SETag	1 octet	= CSA_PARAMS_TAG
SELength	1 octet	= 6
Subtype	2 octets	SUBTYPE_RS (32771)
Gabarit binaire de valeur de R de codage acceptée	2 octets	*Premier octet* Bit R 0 2 1 4 2 6 3 8 4 10 5 12 6 14 7 16 *Second octet* Bit R 0 18 1 20 2 à 7, réservé

Tableau 10-46/G.9954 – Extension de TLV de paramètres de sous-type RS pour CSA

Champ	Longueur	Signification
Gabarit binaire de valeur de R de décodage acceptée	2 octets	*Premier octet* Bit R 0 2 1 4 2 6 3 8 4 10 5 12 6 14 7 16 *Second octet* Bit R 0 18 1 20 2 à 7, réservé
Données de paramètre	1 + octets	Données spécifiques de l'implémentation

10.12 Protocole de gestion des collisions

Le protocole de gestion des collisions définit un mécanisme d'allocation dynamique de séquences uniques et fixées de valeurs de créneau de signal de collision aux stations afin de contrôler le délai d'accès pour les appareils qui utilisent la priorité PHY de niveau 7 pour le trafic à très faible délai de latence (comme la voix).

10.12.1 Termes et acronymes

10.12.1.1 client CSS actif: client CSS qui a une allocation CSS et utilise CSS pour la transmission de trame.

10.12.1.2 canal: flux logique, série de trames transmises d'une seule instance d'une application, par exemple, les trames contenant un flux simplex de voix numérisée.

10.12.1.3 séquence de signalisation de collision (CSS, *collision signalling sequence*): ensemble d'allocations de créneaux de signal DFPQ dont la gestion peut créer des contraintes de délai de latence pour les trames de la plus haute priorité.

10.12.1.4 client CSS: toute station qui participe à l'allocation des séquences CSS en utilisant l'extension de TLV CSS. Un client CSS choisit sa propre CSS.

10.12.1.5 extension CSS: structure de TLV ajoutée aux messages CSA qui contient des informations pour la prise en charge de la distribution d'allocation des valeurs de CSS aux stations.

10.12.1.6 protocole CSS: protocole de distribution des valeurs de CSS aux stations via une extension CSA.

10.12.1.7 client multicanal: client CSS qui envoie plusieurs flux de trames indépendants à la priorité PHY 7. Par exemple, un appareil passerelle acceptant plusieurs flux indépendants (non agrégés). Certaines valeurs de CSS peuvent fournir un meilleur service pour les clients multicanal.

10.12.1.8 client monocanal: client CSS qui transmet un seul flux de trames à la priorité PHY 7. Un téléphone PNT à ligne unique est un exemple d'appareil monocanal typique.

10.12.2 Séquence de signalisation de collision

Une séquence de signalisation de collision (CSS) est un ensemble ordonné de valeurs de deux bits [s1, s2, …sN] utilisé pour contrôler le comportement d'une couche MAC DFPQ de PNT à la suite de collisions. Une valeur dans la gamme [0,2] pour s<x> indique un créneau de signalisation spécifique à utiliser à la suite de la <x>ème collision, alors que la valeur 3 indique l'utilisation d'une valeur aléatoire choisie par la station au moment de la collision. Une valeur de créneau de signal dans une séquence doit être utilisée au plus une fois par trame. Si une station rencontre plus de collisions que les valeurs listées dans la séquence, le choix revient alors à la sélection de créneau aléatoire jusqu'à ce que la trame soit transmise ou abandonnée (se comportant comme si la séquence avait une série de 3).

Le nombre de clients CSS actifs est 27, en utilisant seulement les trois premiers créneaux de signal de collision, avec le quatrième et le dernier créneaux spécifiés comme 3, ce qui indique une allocation aléatoire. La partie unique d'une valeur CSS allouée doit couvrir trois créneaux de signal de collision de sorte qu'une valeur CSS standard ait s1-s3 dans la gamme 0 à 2 et s4 à s8 réglés à 3.

L'ensemble des valeurs de CSS est énuméré, et chaque séquence reçoit un rang explicite sur la base de l'ordre de transmission de trame suivant les collisions qui surviennent entre stations qui ont des allocations de CSS uniques. Les valeurs de CSS sont allouées de façon à minimiser le nombre de collisions. L'ordre des 27 premières séquences est indiqué dans le Tableau 10-47. Cet ordre doit être utilisé par les clients CSS pour choisir le prochain CSS à allouer à partir de l'ensemble des valeurs inutilisées. Les trois premières stations multicanal peuvent se voir allouer les trois premières séquences afin de minimiser les répétitions de collision pour chacun de ces flux.

Tableau 10-47/G.9954 – Valeurs de CSS dans l'ordre d'allocation

Numéro de séquence CSS (dans l'ordre d'allocation)	Séquence s1,s2,s3,s4,s5,s6,s7,s8	Rang d'émission
1[a)]	0,0,0,3,3,3,3,3	1
2[a)]	1,0,0,3,3,3,3,3	10
3[a)]	2,0,0,3,3,3,3,3	19
4	0,1,0,3,3,3,3,3	4
5	0,2,0,3,3,3,3,3	7
6	1,1,0,3,3,3,3,3	13
7	1,2,0,3,3,3,3,3	16
8	2,1,0,3,3,3,3,3	22
9	2,2,0,3,3,3,3,3	25
10	0,0,1,3,3,3,3,3	2
11	0,0,2,3,3,3,3,3	3
12	0,1,1,3,3,3,3,3	5
13	0,1,2,3,3,3,3,3	6
14	0,2,1,3,3,3,3,3	8
15	0,2,2,3,3,3,3,3	9
16	1,0,1,3,3,3,3,3	11
17	1,0,2,3,3,3,3,3	12
18	1,1,1,3,3,3,3,3	14

Tableau 10-47/G.9954 – Valeurs de CSS dans l'ordre d'allocation

Numéro de séquence CSS (dans l'ordre d'allocation)	Séquence s1,s2,s3,s4,s5,s6,s7,s8	Rang d'émission
19	1,1,2,3,3,3,3,3	15
20	1,2,1,3,3,3,3,3	17
21	1,2,2,3,3,3,3,3	18
22	2,0,1,3,3,3,3,3	20
23	2,0,2,3,3,3,3,3	21
24	2,1,1,3,3,3,3,3	23
25	2,1,2,3,3,3,3,3	24
26	2,2,1,3,3,3,3,3	26
27	2,2,2,3,3,3,3,3	27
[a] Les stations multicanal devraient utiliser ces valeurs si plus d'une est opérationnelle.		

10.12.3 Extension CSA pour la prise en charge de l'allocation de CSS

Le protocole d'allocation de séquence CSS utilise le protocole CSA avec une extension fondée sur le TLV. Toutes les stations requérant une allocation de séquence CSS doivent prendre en charge le protocole CSA et doivent prendre en charge les fonctions de mappage de priorité CSA.

10.12.3.1 Allocations de fanions de CSS

Chaque valeur de CSS reçoit un fanion binaire dans un champ binaire contigu, avec la première valeur de CSS allouée au bit de plus faible poids lorsque le champ est traité comme un entier arithmétique dans l'ordre des octets du réseau (voir le Tableau 10-48).

Tableau 10-48/G.9954 – Fanion CSS mis, montrant l'allocation des bits aux valeurs de séquence CSS

Octet	Champ	Longueur (bits)	Description
CSSFlags0	Réservé	5	Pour Extension CSS version 0, envoyé à 0, ignoré à réception.
	CSS_Seq27	1	La station utilise (utilisait) le numéro de séquence CSS 27.
	CSS_Seq26	1	La station utilise (utilisait) le numéro de séquence CSS 26.
	CSS_Seq25	1	La station utilise (utilisait) le numéro de séquence CSS 25.
CSSFlags1	CSS_Seq24	1	La station utilise (utilisait) le numéro de séquence CSS 24.
	CSS_Seq23	1	La station utilise (utilisait) le numéro de séquence CSS 23.
	CSS_Seq22	1	La station utilise (utilisait) le numéro de séquence CSS 22.
	CSS_Seq21	1	La station utilise (utilisait) le numéro de séquence CSS 21.
	CSS_Seq20	1	La station utilise (utilisait) le numéro de séquence CSS 20.
	CSS_Seq19	1	La station utilise (utilisait) le numéro de séquence CSS 19.
	CSS_Seq18	1	La station utilise (utilisait) le numéro de séquence CSS 18.
	CSS_Seq17	1	La station utilise (utilisait) le numéro de séquence CSS 17.

Tableau 10-48/G.9954 – Fanion CSS mis, montrant l'allocation des bits aux valeurs de séquence CSS

Octet	Champ	Longueur (bits)	Description
CSSFlags2	CSS_Seq16	1	La station utilise (utilisait) le numéro de séquence CSS 16.
	CSS_Seq15	1	La station utilise (utilisait) le numéro de séquence CSS 15.
	CSS_Seq14	1	La station utilise (utilisait) le numéro de séquence CSS 14.
	CSS_Seq13	1	La station utilise (utilisait) le numéro de séquence CSS 13.
	CSS_Seq12	1	La station utilise (utilisait) le numéro de séquence CSS 12.
	CSS_Seq11	1	La station utilise (utilisait) le numéro de séquence CSS 11.
	CSS_Seq10	1	La station utilise (utilisait) le numéro de séquence CSS 10.
	CSS_Seq9	1	La station utilise (utilisait) le numéro de séquence CSS 9.
CSSFlags3	CSS_Seq8	1	La station utilise (utilisait) le numéro de séquence CSS 8.
	CSS_Seq7	1	La station utilise (utilisait) le numéro de séquence CSS 7.
	CSS_Seq6	1	La station utilise (utilisait) le numéro de séquence CSS 6.
	CSS_Seq5	1	La station utilise (utilisait) le numéro de séquence CSS 5.
	CSS_Seq4	1	La station utilise (utilisait) le numéro de séquence CSS 4.
	CSS_Seq3	1	La station utilise (utilisait) le numéro de séquence CSS 3.
	CSS_Seq2	1	La station utilise (utilisait) le numéro de séquence CSS 2.
	CSS_Seq1	1	La station utilise (utilisait) le numéro de séquence CSS 1.

10.12.3.2 Extension de séquence de signalisation de collision pour CSA

Tous les échanges de protocole de séquence de signalisation de collision utilisent les messages CSA qui contiennent l'extension CSS.

Une extension d'étiquette-Longueur-Valeur (TLV) appelée extension CSS est définie pour le protocole CSA, pour être insérée à la suite des champs fixés définis pour le PNT. L'extension CSS sert à annoncer les valeurs de CSS parmi les stations.

L'extension CSS doit être ajoutée au message CSA entre le dernier champ fixé de la trame CSA (CSA_CurrentRxSet), et le champ Next Ethertype de la trame CSA. Il n'y a pas d'exigence d'ordre pour l'extension CSS par rapport aux autres extensions CSA, mais l'extension CSS doit être placée en décalage par rapport au début du message CSA qui a le même alignement , modulo 4, qu'il aurait s'il était la première extension à la suite de CSA_CurrentRxSet. L'exigence d'alignement découle des champs d'entier arithmétique de 32 bits qui forment sa structure.

Le Tableau 10-49 décrit le format de l'extension CSS pour CSA.

Tableau 10-49/G.9954 – Extension de séquence CSS pour CSA

Champ	Longueur	Signification
SETag	1 octet	CSS_TAG indique une extension de CSS.
SELength	1 octet	14 = nombre d'octets supplémentaires dans cette extension. SELength est toujours 14 pour l'extension de CSS, version 0.
CSS_Version	1 octet	0.
CSS_NumChannels	1 octet	Nombre de canaux d'émission actifs pour l'appareil

Tableau 10-49/G.9954 – Extension de séquence CSS pour CSA

Champ	Longueur	Signification
CSS_CurrentTxSet	4 octets	Indique la valeur de CSS courante utilisée par cette station, s'il en est. Un réglage tout à zéro indique qu'aucune valeur de CSS n'est utilisée par cette station. Pas de péremption au sens habituel de CSA, excepté que sa valeur est copiée dans CSS_OldestTxSet à la fin de chaque période CSA. Les valeurs de fanion sont spécifiées au § 10.12.3.1.
CSS_OldestTxSet	4 octets	Copie de CSS_CurrentTxSet, faite au début de la période CSA en cours si aucun changement n'a eu lieu, ou lorsque la valeur de CSS_CurrentRxSet change (sauvegarde les valeurs précédentes). Les valeurs de fanion sont spécifiées au § 10.12.3.1.
CSS_CurrentRxSet	4 octets	Réunion des fanions de CSS reçus des autres stations durant la période CSA en cours (CSS_NewRxSet) et des fanions reçus dans la période précédente (CSS_PrevRxSet). Les valeurs de fanion sont spécifiées au § 10.12.3.1.

10.12.4 Procédures d'allocation de CSS

Le protocole d'allocation de séquence CSS est une addition directe au protocole CSA de base. Les stations implémentant l'allocation de séquence CSS doivent inclure le TLV de CSS dans les messages CSA qu'elles transmettent à moins que CSS_CurrentTxSet et CSS_OldestTxSet aient tous deux leur valeur tout à zéro. Les changements de valeur de CSS_CurrentTxSet sont considérés comme des changements des informations d'état de CSA publiées, et donc le premier message CSA envoyé avec un changement de valeur de CSS_CurrentTxSet doit être retransmis, selon le fonctionnement standard du protocole CSA.

Les stations maintiennent un ensemble de fanions de CSS utilisant une logique semblable à celle utilisée pour les fanions CSA standards. CSS_CurrentInUse est défini comme l'union de CSS_CurrentTxSet et de CSS_CurrentRxSet, et indique l'ensemble des valeurs de CSS en cours d'utilisation sur le réseau.

CSS_CurrentTxSet contient le fanion pour la valeur de CSS en cours d'utilisation dans la station émettrice, ou 0 si aucune n'est utilisée.

CSS_OldestTxSet contient soit une copie de CSS_CurrentTxSet provenant du début de la période CSA en cours (c'est-à-dire qu'une copie est faite une fois par minute), soit la valeur précédente de CSS_CurrentTxSet si la station renonce à sa valeur de CSS, ou se réalloue une nouvelle valeur.

CSS_CurrentRxSet est l'union des fanions de CSS reçus des autres stations durant la période CSA en cours (CSS_NewRxSet) et des fanions reçus durant la période précédente (CSS_PrevRxSet).

10.12.4.1 Utilisation de l'extension de CSS

Les stations qui implémentent le protocole d'allocation de CSS incluent normalement l'extension de CSS dans chacun de leurs messages CSA sortants. L'extension de CSS peut être exclue des messages de CSA émis si CSS_CurrentTxSet et CSS_OldestTxSet sont tous deux à zéro dans le message sortant. Cependant, les informations d'état de CSS doivent continuer d'être entretenues sur la base des extensions de CSS reçues (ou leur absence), pour savoir si l'extension CSS est transmise.

10.12.4.2 Allocation d'une nouvelle valeur de CSS

Une station qui n'a pas encore de valeur de CSS choisit la plus faible valeur de CSS (c'est-à-dire le plus faible numéro d'ordre d'allocation) qui n'a pas son fanion établi, et met ce fanion dans ses messages sortants. Comme c'est un changement des informations d'état publiées pour la station, le

premier message CSA avec une nouvelle allocation doit être retransmis une fois selon les règles de transmission CSA.

10.12.4.3 Abandon d'une valeur de CSS en cours d'utilisation

Lorsqu'une station abandonne une valeur de CSS, elle doit envoyer un nouveau message CSA (retransmis une fois), avec une extension de CSS qui a CSS_OldestTxSet réglé à précédente valeur de CSS_CurrentTxSet (indiquant la valeur abandonnée), et CSS_CurrentTxSet réglé à sa nouvelle valeur, soit à zéro, si la station n'a plus de valeur de CSS, ou contenant le fanion pour une nouvelle valeur choisie dans le cas d'une réallocation. Les récepteurs de ces informations savent que le propriétaire de la valeur de CSS est en train de la libérer.

10.12.4.4 Conflits d'allocation de CSS

Il est possible que deux stations (ou plus) choisissent la même valeur de CSS, soit presque au même instant par simple coïncidence, soit du fait de l'implémentation du § 10.12.4.6 ci-dessous, de sorte que plusieurs stations finissent par publier le même fanion. Si une station reçoit une extension de CSS avec un fanion dans CSS_CurrentTxSet qui indique une duplication d'allocation, et que le nombre de canaux dans l'extension reçue (CSS_NumChannels) est supérieur ou égal au nombre de canaux publié par le récepteur, la station réceptrice doit se réallouer une nouvelle valeur de CSS. Si le nombre de canaux dans l'extension de CSS reçue est supérieure au nombre de canaux publié par le récepteur, le récepteur doit alors choisir la prochaine valeur de CSS disponible. Autrement il doit choisir de façon aléatoire une nouvelle valeur dans l'ensemble des valeurs de CSS inutilisées.

10.12.4.5 Utilisation des meilleures valeurs de CSS: règle du recul

Lorsqu'une valeur de CSS est abandonnée, les autres stations vont, dans au plus deux minutes, remarquer qu'elle est libre. Lorsque la station avec la valeur supérieure voisine remarque que la valeur de CSS précédente est libre, elle doit se réallouer la nouvelle valeur de CSS inférieure, suivant un délai court, aléatoire, inférieur à deux secondes. L'objet de ce délai est de prévenir les incompréhensions en ce qui concerne l'ensemble des valeurs de CSS en cours d'utilisation qui peuvent survenir lors de la résolution d'un conflit entre deux stations.

Pour optimiser, si la nouvelle valeur de CSS est dans un bloc de valeurs libres contiguës, la station peut choisir la plus faible valeur de CSS pour sa réallocation plutôt qu'effectuer une série de réallocations séquentielles. Cette situation ne survient normalement que lorsqu'une station fait un choix aléatoire d'une valeur de CSS libre à la suite d'un conflit.

10.12.4.6 Optimisation pour les clients multicanaux

Une station multicanaux peut choisir une des trois premières valeurs de CSS même si elles sont toutes utilisées, forçant le propriétaire existant à se réallouer une nouvelle valeur de CSS, mais seulement si le propriétaire en cours utilise moins de canaux.

10.13 Protocole de mise en rafale de trame

Le protocole de mise en rafale de trame est exigé. L'objet de ce protocole est la réduction de redondance associée au format de mise en trame de couche Physique par l'enchaînement des trames qui partagent la même valeur de DA/SA avec une priorité égale ou supérieure.

Le format de trame figure au Tableau 10-50:

Tableau 10-50/G.9954 – Format de mise en rafale de trame

Champ	Longueur	Signification
DA	6 octets	Adresse de destination
SA	6 octets	Adresse de source
Ethertype	2 octets	0x886c (Trame de contrôle de liaison PNT)
SSType	1 octet	= SUBTYPE_FRAMEBURST (6)
SSLength	1 octet	6
SSVersion	1 octet	= 0
FLH Pad	1 octet	Réservé, doit être envoyé à 0 et ignoré du récepteur.
Paquet Longueur	2 octets	Longueur en octets du premier paquet, du premier octet suivant le champ Longueur de paquet au dernier octet des données précédant le FCS.
Next Ethertype	2 octets	Ethertype de préincorporation du premier paquet à mettre en rafale
Data#1	variable	Données de charge utile de préincorporation de la trame n° 1 mise en rafale
FCS#1	4 octets	Séquence de vérification de trame
CRC-16#1	2 octets	Séquence de vérification de trame supplémentaire (inclut l'en-tête LLC)
Control Info#2	4 ou 24 octets	Informations de contrôle pour le second paquet conformément au Tableau 10-51 ou au Tableau 10-52.
Next Ethertype#2	2 octets	Ethertype de préincorporation du second paquet à mettre en rafale
Data#2	variable	Données de charge utile de préincorporation du second paquet mis en rafale
FCS#2	4 octets	Séquence de vérification de trame
CRC-16#2	2 octets	Séquence de vérification de trame supplémentaire de la fin du CRC-16 précédent
• • •		Plus de paquets mis en rafale
Control Info#N	4-24 octets	Informations de contrôle pour le $n^{ième}$ paquet conformément au Tableau 10-51 ou au Tableau 10-52.
Next Ethertype#N	2 octets	Ethertype de préincorporation ethertype provenant de la trame n° N mise en rafale
Data#N	variable	Données de charge utile de préincorporation provenant de la trame n° N mise en rafale
FCS#N	4 octets	Séquence de vérification de trame
CRC-16#N	2 octets	Séquence de vérification de trame supplémentaire
Queue de fin de rafale	4 octets	0xFFFF. Queue de fin de rafale, indique la fin de la rafale.
Bourrage		Pour atteindre minFrameSize si nécessaire

Tableau 10-51/G.9954 – Informations de contrôle court

Champ	Longueur	Signification
FT	1 octet	Type de trame du paquet d'origine qu'on met en rafale
SMAC	1 bit	Indicateur MAC synchrone
FS	3 bits	Sous-type de trame du paquet d'origine qu'on met en rafale
Short	1 bit	= 1
Rsvd	3 bits	Réservé, doit être envoyé à 0 et ignoré du récepteur
Priorité/ID de flux	4 bits	Priorité/ID de flux du paquet d'origine qu'on met en rafale
Réservé	4 bits	Bits réservés pour utilisation future. Doivent être envoyés à 0 et ignorés du récepteur.
Longueur de paquet	2 octets	Longueur du paquet d'origine qu'on met en rafale

Dans le Tableau 10-52 l'ombrage en diagonale montre la décomposition du champ (FT) en champs binaires.

Tableau 10-52/G.9954 – Informations de contrôle long

Champ	Longueur	Signification
FT	8 bits	Type de trame du paquet d'origine qu'on met en rafale. Le codage du FT est comme défini immédiatement ci-dessous:
SMAC	1 bit	Indicateur MAC synchrone
FS	3 bits	Sous-type de trame du paquet d'origine qu'on met en rafale
Short	1 bit	= 0
Rsvd	3 bits	Réservé, doit être envoyé à 0 et ignoré du récepteur
Priority/Flow ID	4 bits	Priorité/ID du paquet d'origine qu'on met en rafale
SI	4 bits	Indice d'embrouillage du paquet d'origine qu'on met en rafale
PE	8 bits	Codage de charge utile du paquet d'origine qu'on met en rafale
HCS	8 bits	Séquence de vérification d'en-tête du paquet d'origine qu'on met en rafale
DA	6 octets	Adresse de destination du paquet d'origine qu'on met en rafale
SA	6 octets	Adresse de source du paquet d'origine qu'on met en rafale
Ethertype	2 octets	0x886c (trame de contrôle de liaison PNT)
SSType	1 octet	= SUBTYPE_FRAMEBURST (6)
SSLength	1 octet	6
SSVersion	1 octet	= 0
FLH Pad	1 octet	Réservé, doit être envoyé à 0 et ignoré du récepteur
Packet Length	2 octets	Longueur du paquet d'origine qu'on met en rafale

En réalité, le premier paquet a toujours le format long des informations de contrôle.

La longueur maximale ne doit pas excéder le temps alloué maximal sur le câble. La taille maximale de la trame mise en rafale doit être négociée dans les messages CSA comme décrit au § 10.10.6. Toutes les trames d'une rafale doivent être de la même valeur de DA/SA. Lorsqu'un émetteur construit la mise en rafale d'une trame, les priorités de chaque sous-trame mise en rafale dans un réseau non géré doivent être égales ou supérieures à la priorité de la première trame. Si la priorité d'une trame est inférieure à la priorité de la première sous-trame d'une rafale de trames, elle ne doit

pas être enchaînée dans une rafale de trames, et doit commencer une nouvelle trame de couche Physique. Dans un réseau géré, il ne doit pas y avoir de limite sur les flux mis en rafale entre les mêmes valeurs de DA/SA.

La queue de terminaison de rafale doit être utilisée pour indiquer la fin de la rafale.

10.14 Synchronisation de cycle MAC

En mode SMAC, la synchronisation de cycle MAC doit être effectuée en utilisant le plan d'accès au support (MAP) généré par le maître. Le MAP indique le début du cycle MAC et contient le plan d'accès au support pour le cycle MAC suivant.

Toutes les stations G.9954 doivent mettre en œuvre la fonction de synchronisation de cycle MAC pour un comportement MAC synchrone dans un réseau contrôlé par un maître.

10.14.1 Trame de contrôle de MAP

Dans le Tableau 10-53, l'ombrage en diagonales est utilisé pour montrer la décomposition d'un champ (TXOP) en sous-champs. La décomposition du sous-champ (TXOPID) en champs binaires est montrée par le passage de l'ombrage (diagonal) aux champs clairs (non ombrés).

Tableau 10-53/G.9954 – Trame de contrôle de MAP

Champ	Longueur	Signification
DA	6 octets	Adresse de destination = 0xFF:FF:FF:FF:FF:FF
SA	6 octets	Adresse de source d'appareil maître.
Ethertype	2 octets	0x886c (trame de contrôle de liaison PNT)
LSType	2 octets	= SUBTYPE_MAP (32772)
LSLength	2 octets	Nombre d'octets supplémentaires dans l'en-tête de contrôle, débutant avec le champ LSVersion et se terminant avec le second (dernier) octet du champ Next Ethertype. Le minimum de LSLength est 22 pour LSVersion 0.
LSVersion	1 octet	= 0
LSPad	1 octet	Ignoré à réception
MAPHeader	12 octets	En-tête MAP comme décrit au Tableau 10-54.
TXOP[1]	4/6 octets	Opportunité de transmission décrite par les sous-champs qui suivent immédiatement. La longueur de la TXOP peut être de 4 ou 6 octets selon la valeur du sous-champ TXOPCtl qui suit.
TXOPCtl	2 bits	0 lorsque l'heure de début de la TXOP est implicitement définie. 1 lorsque l'heure de début de la TXOP est explicitement spécifiée (voir le sous-champ TXOPStart ci-dessous). 2-3 Réservé pour utilisation future
TXOPLength	14 bits	Longueur de la TXOP en µs
TXOPID	16 bits	Identifiant de TXOP. Composé des sous-champs décrits immédiatement ci-dessous.
SrcDeviceID	6 bits	Identifiant de l'appareil à la source du flux.
UniqueFlowID	10 bits	Identifiant unique du flux prenant son origine dans l'appareil identifié par SrcDeviceID.
TXOPStart	16 bits	Heure de début de la TXOP mesuré depuis le début du cycle MAC en µs. Ce champ est facultatif rst n'est défini que si la TXOP est différente de 0.

Tableau 10-53/G.9954 – Trame de contrôle de MAP

Champ	Longueur	Signification
• • •		TXOP supplémentaires
TXOP[N]	4 octets	
Next Ethertype	2 octets	= 0
Pad		Bourrage pour atteindre minFrameSize si nécessaire
FCS	4 octets	Séquence de vérification de trame
CRC-16	2 octets	Séquence de vérification de trame PNT

Dans le Tableau 10-54, l'ombrage en diagonales sert à montrer la décomposition du champ de contrôle en champs binaires.

Tableau 10-54/G.9954 – En-tête de contrôle de MAP

Nom du champ	Taille du champ [bits]	Description
Control Champ	32	Ensemble des champs de contrôle utilisés pour contrôler le comportement des nœuds de point de terminaison. Le codage de ce champ est décrit ci-dessous:
Modified	1	Indique que le tableau des TXOP défini dans ce MAP est différent du tableau des TXOP défini dans le MAP "précédent" où "précédent" est défini comme le MAP envoyé dans le cycle MAC "précédent" avec le *Numéro de séquence* inférieur de un au *Numéro de séquence* "en cours" (en tenant compte de la périodicité). 0 Le MAP est le même que celui du cycle "précédent" 1 Le MAP a changé depuis le cycle "précédent" Ce fanion peut être utilisé par un point d'extrémité pour une optimisation locale.
CycleLatency RepairMethod	2	Méthode de réparation de délai de latence du cycle à utiliser par les points d'extrémité lorsque le début du cycle MAC (comme indiqué par l'heure d'arrivée du MAP) est retardé par rapport à l'heure d'arrivée prévue. Pour plus de détails, voir le § 7.3.3. 0 Aucune – Ne pas utiliser de techniques de réparation du temps de latence au début du cycle 1 Régler l'horloge – Régler l'horloge utilisée pour ajuster les transmissions SMAC en début de cycle du décalage du retard. 2-3 Réservé pour utilisation future
Collision Resolution Method	2	Méthode de résolution de collision (CR) à utiliser pour résoudre les collisions durant les TXOP définies comme périodes de concurrence. Pour plus de détails, voir le § 7.3.7. 0 DFPQ (CR de style G.9951/2) 1 DFPQ limité 2 Réservé pour utilisation future.

Tableau 10-54/G.9954 – En-tête de contrôle de MAP

Nom du champ	Taille du champ [bits]	Description
SMAC_EXIT	1	Sortie de mode MAC synchrone. Le maître doit alors cesser d'envoyer des MAP. Ce fanion sert d'indication aux appareils G.9954 pour entrer en mode AMAC. 0 Rester en mode SMAC 1 Sortir de mode SMAC
AMAC_DETECTED	1	Existence détectée par le maître d'un appareil fonctionnant en mode AMAC. La méthode utilisée par le maître pour détecter les nœuds AMAC dépend de l'implémentation. 0 Appareil fonctionnant en mode AMAC NON détectée 1 Appareil fonctionnant en mode AMAC détectée
CP Priority Limit	3	Plus haute priorité à utiliser pour les transmissions en période de concurrence (CTXOP). Peut être contrôlée afin de donner priorité aux CF d'émission dans un environnement (par exemple, réseau mixte G.9951/2 et G.9954) où des émissions CF et CP peuvent entrer en collision. Les valeurs définies sont: 0..7 Niveaux de priorité
MAP_IFG_INCR	6	Incrément ajouté à CS_IFG (29 µs) afin de déterminer la taille du MAP_IFG (Intervalle intertrames) prévu entre les TXOP par le maître. MAP_IFG est défini par la relation: $MAP_IFG = CS_IFG + MAP_IFG_INCR$ Le silence de MAP_IFG doit être garanti par chaque point d'extrémité à la fin de sa TXOP. MAP_IFG_OFFSET est mesuré en unités de 500 ns.
Réservé	16	Réservé pour utilisation future. Doit être envoyé à 0 et ignoré par le récepteur.
Réservé	32	Réservé pour utilisation future. Doit être envoyé à 0 et ignoré par le récepteur.
SequenceNumber	16	Numéro de séquence de MAP. Compteur modulaire qui est incrémenté à chaque cycle MAC.
NumTXOPs	16	Nombre d'entrées dans le tableau d'allocation. Le nombre minimal d'entrées dans un MAP est normalement de 2 (une entrée pour le MAP et la seconde entrée pour la TXOP NON ALLOUEE). Lorsque le fanion SMAC_EXIT est mis, le nombre d'entrées dans le MAP peut être zéro. Le nombre maximal d'entrées est limité par la taille maximale de la trame de contrôle de MAP comme décrit ci-dessus.

10.14.2 Termes et paramètres

10.14.2.1 Temporisateurs

SYNC_Timer: temporisateur autonome d'une période de 150 ms.

Ce temporisateur sert à détecter la perte de synchronisation avec le cycle MAC généré par le maître. Le temporisateur est activé à l'entrée en mode SMAC et annulé en quittant le mode SMAC.

10.14.3 Protocole de synchronisation du cycle MAC

10.14.3.1 Trame de contrôle de MAP en réception

Si l'appareil G.9954 est en mode AMAC, le temporisateur périodique SYNC_Timer devrait être armé et l'état du système changé en mode SMAC.

Si l'appareil G.9954 est déjà en mode SMAC, le temporisateur SYNC_Timer devrait être réarmé pour compter une nouvelle période de temporisation SYNC.

Les informations de contrôle communiquées dans le MAP devraient être utilisées pour mettre à jour les variables d'état du système utilisées par le processeur MAC.

10.14.3.2 Fin de temporisation de SYNC_Timer

Lorsque survient la fin de temporisation d'un SYNC_Timer, cela indique qu'un MAP n'a pas été reçu pour la période SYNC_Timer et que SYNC_LOSS est survenue.

Le mode MAC en cours devrait être changé en mode AMAC, et les variables d'état du système changées.

10.15 Protocole de contrôle d'admission au réseau (enregistrement)

Dans un réseau contrôlé par un maître, un appareil G.9954 qui accepte les flux avec des contrats de qualité de service est obligé d'effectuer les procédures suivantes afin d'entrer dans le réseau:

- Synchronisation – attendre les transmissions périodiques de MAP provenant du maître.
- Enregistrement – localiser des opportunités de transmission dans le MAP pour la transmission des messages de protocole d'enregistrement et effectuer l'enregistrement auprès du maître.

La procédure de synchronisation implique d'attendre la réception d'une transmission périodique de MAP provenant du maître désigné en cours. Une fois le MAP reçu, un appareil G.9954 qui souhaite se joindre au réseau est capable de localiser une opportunité de transmission disponible et de procéder à la procédure d'enregistrement.

La procédure d'enregistrement consiste en une séquence de transactions demande-réponse entre le maître et l'appareil qui s'enregistre. La procédure d'enregistrement sert à authentifier un appareil pour l'entrée dans le réseau, lui allouer un identifiant d'appareil unique, et à télécharger les informations de configuration du réseau.

10.15.1 Opportunités d'enregistrement

Une fois qu'un appareil est synchronisé avec le cycle MAC, l'appareil est tenu de localiser les opportunités de transmission qui lui permettront d'amorcer le processus d'enregistrement. De telles opportunités de transmission sont identifiées dans le MAP par de la bande passante non allouée (en réserve) ou par des opportunités explicites d'ENREGISTREMENT. Pour des informations complémentaires sur l'identité des TXOP ENREGISTREMENT, voir le § 7.3.3.4.2.

Le maître garantit la fourniture de bande passante en réserve suffisante ou l'allocation de TXOP ENREGISTREMENT au moins une fois par période REG_PERIOD. L'opportunité de transmission ENREGISTREMENT sert à faire connaître l'intention de s'enregistrer. Cette intention est exprimée par l'envoi d'un message REG_REQUEST au maître.

Les appareils sont en concurrence pour l'accès aux opportunités de transmission ENREGISTREMENT.

10.15.2 Contrôle d'enregistrement et d'autorisation

L'enregistrement est le processus effectué pour autoriser un appareil G.9954 à demander la réservation de bande passante. C'est seulement après qu'un appareil s'est enregistré auprès du maître qu'il peut réserver de la bande passante au moyen de demandes explicites d'établissement de flux avec le maître.

La procédure d'enregistrement implique une séquence de demande-réponse, par laquelle un appareil G.9954 demande à être enregistré auprès du maître en envoyant un message REG_REQUEST qui contient l'adresse MAC de l'appareil ainsi que d'autres caractéristiques d'identification, telles qu'une clé d'authentification et un ensemble de paramètres de capacités. A réception d'un message REG_REQUEST, le maître est responsable de l'autorisation d'entrée de l'appareil demandeur et, si l'autorisation est accordée, de l'allocation des ressources à l'appareil enregistré.

L'autorisation est effectuée en vérifiant que l'appareil, identifié par son adresse MAC et d'autres informations d'identification possibles (par exemple, une clé d'authentification) est valide et l'appareil est autorisé à se joindre au réseau domestique contrôlé par le maître. Les détails de la procédure d'autorisation dépendent de l'implémentation.

Une fois un appareil admis dans le réseau, il lui est alloué un ID d'appareil unique. Cet ID d'appareil est utilisé par la suite comme faisant partie du schéma d'adressage utilisé pour allouer les opportunités de transmission aux appareils et les flux dans le Plan d'accès au support.

Le maître répond à une REG_REQUEST par une REG_RESPONSE. La réponse contient un fanion d'état qui indique si la procédure d'enregistrement a réussi ou non. Si la procédure est réussie, le maître télécharge les données de configuration du réseau à l'appareil enregistré.

Si un message REGISTRATION_RESPONSE n'est pas reçu du maître dans un délai REG_TIMEOUT (T0), l'appareil qui s'enregistre devrait réessayer après avoir attendu pendant une durée aléatoire en utilisant le temporisateur RetransmitTimer (voir le § 10.15.6). Si l'appareil qui s'enregistre ne reçoit pas de réponse après le nombre d'essais MAX_RETRIES, il devrait être réinitialisé et la séquence devrait être recommencée.

Le protocole d'admission au réseau est illustré par le diagramme de séquence de la Figure 10-7.

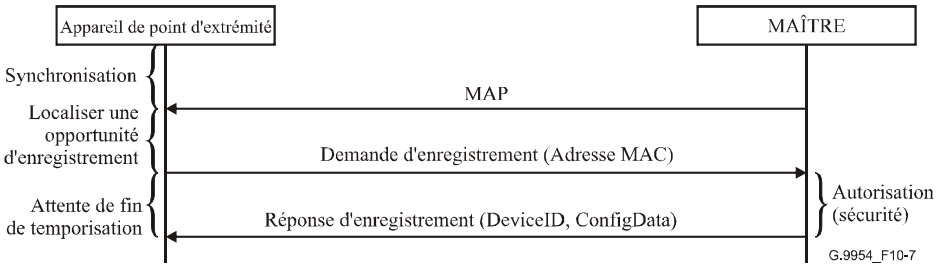

Figure 10-7/G.9954 – Diagramme de séquence du protocole d'admission au réseau

10.15.3 Machine d'état d'enregistrement

Le diagramme d'état suivant (Figure 10-8) montre une vue des transitions d'état dans le processus d'enregistrement du point de vue d'un appareil de point d'extrémité.

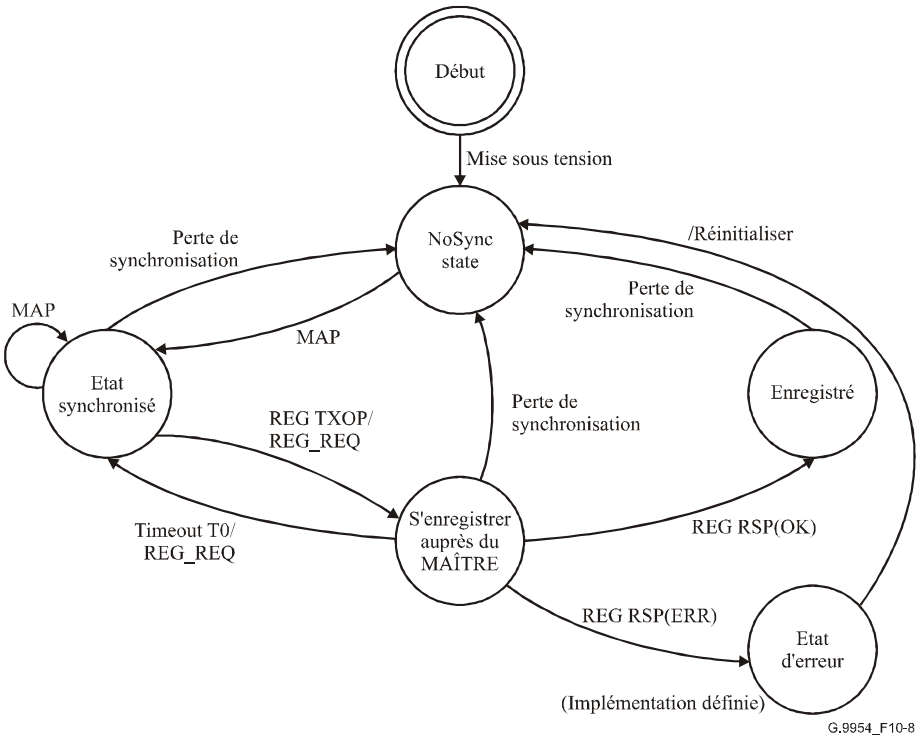

Figure 10-8/G.9954 – Enregistrement à un appareil de point d'extrémité

Les diagrammes SDL suivants (Figures 10-9 et 10.10) donnent une description complète du comportement des appareils de point d'extrémité et maître durant le protocole d'enregistrement.

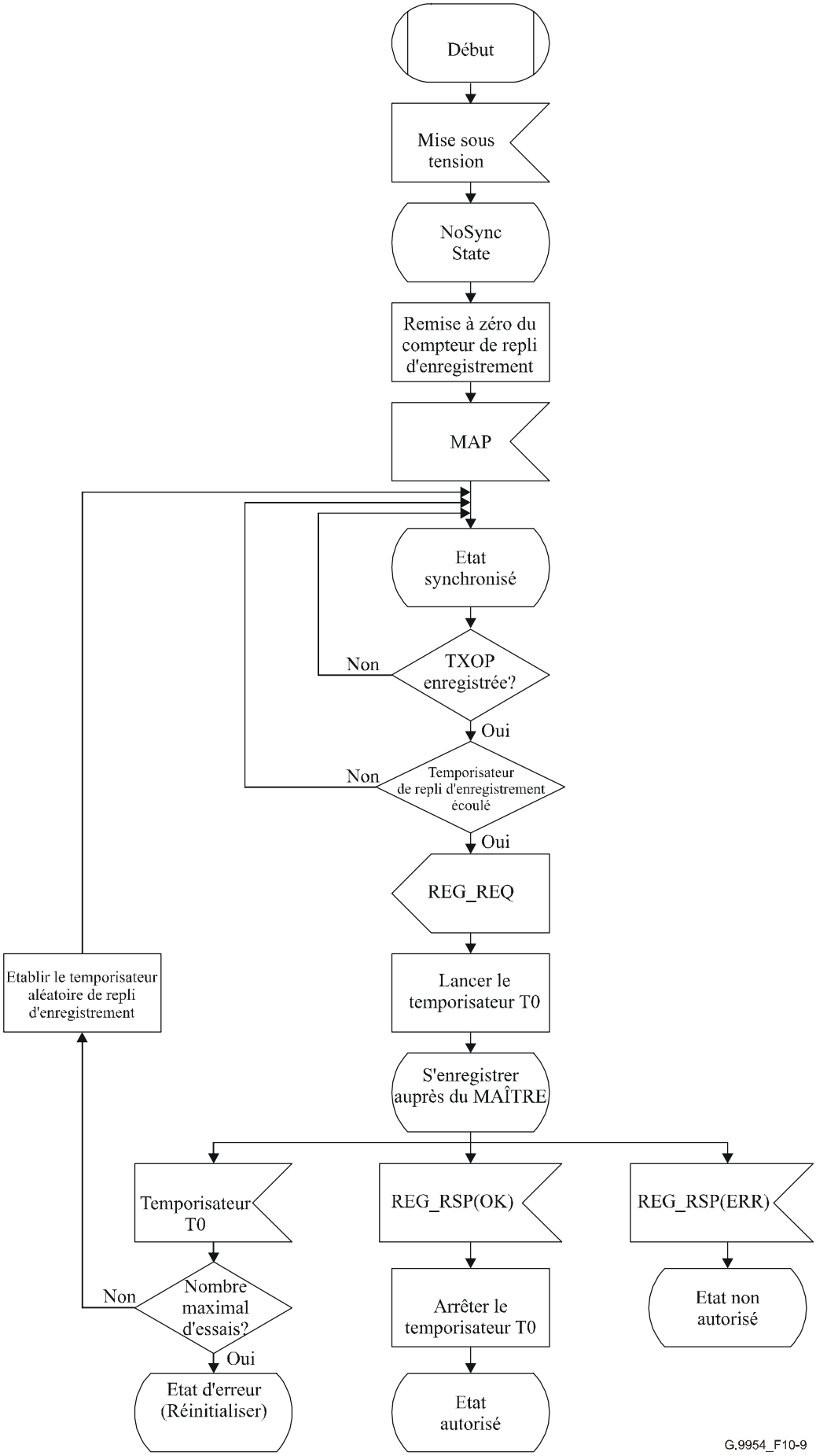

Figure 10-9/G.9954 – Séquence d'enregistrement au point d'extrémité

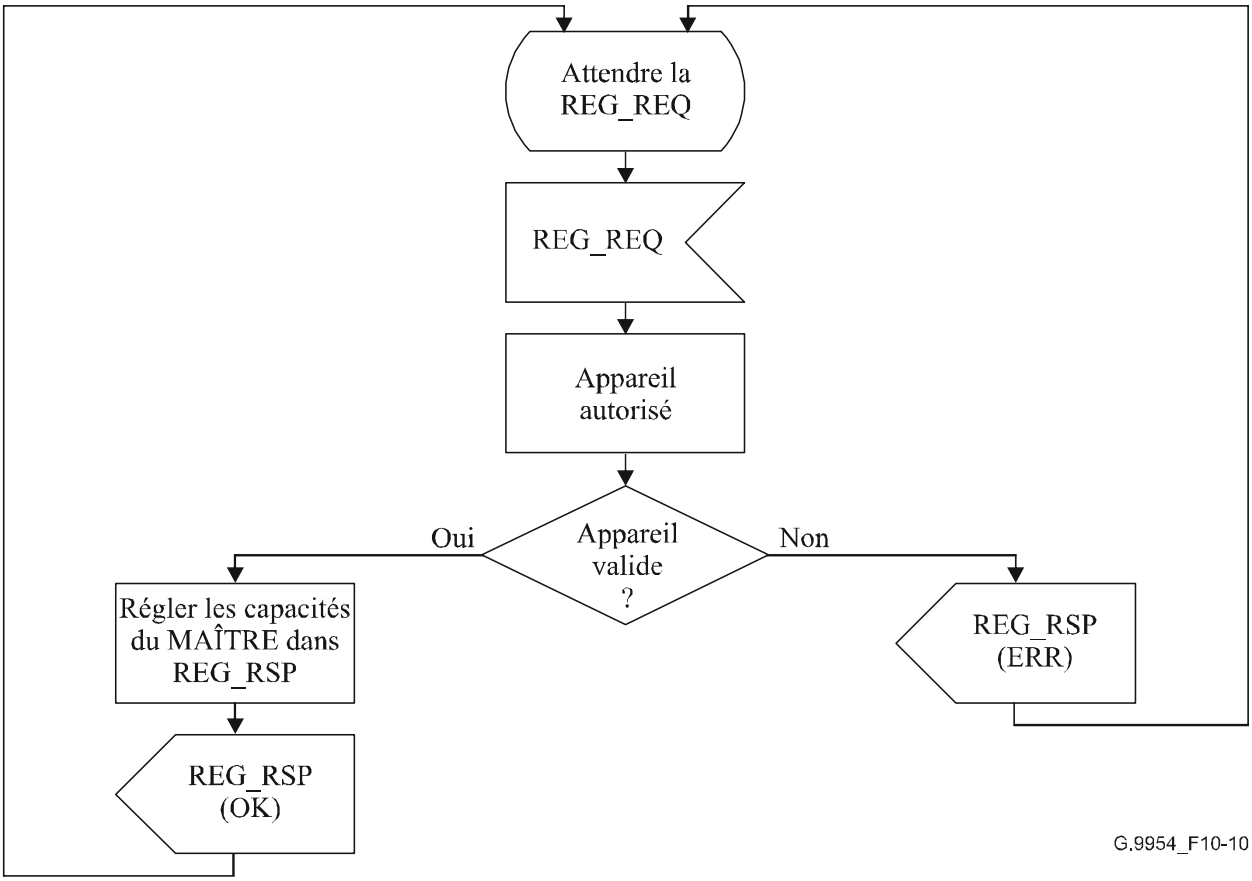

Figure 10-10/G.9954 – Séquence d'enregistrement au maître

10.15.4 Péremption des appareils enregistrés

Le maître doit entretenir un temporisateur de péremption et doit, à la fin de chaque période AgeingTimer, vérifier qu'une trame CSA a été reçue pour chaque appareil enregistré. Si une trame CSA n'a pas été reçue pour un appareil enregistré pendant la période AgeingTimer, l'appareil doit être désenregistré et toutes les ressources associées doivent être retirées.

Pour une définition du temporisateur AgeingTimer, voir le § 10.15.6.1.

10.15.5 Formats de trame

Les trames de contrôle d'enregistrement devraient être envoyées en utilisant le gabarit spectral n° 2, 2 Mbaud, 2 bits par symbole (PE = 33). Le format des trames de contrôle d'enregistrement est décrit au Tableau 10-55 et au Tableau 10-57.

Tableau 10-55/G.9954 – Message de demande d'enregistrement

Champ	Longueur	Signification
DA	6 octets	Adresse de destination
SA	6 octets	Adresse de source de l'appareil qui demande l'enregistrement
Ethertype	2 octets	0x886c (Trame de contrôle de liaison PNT)
LSType	2 octets	= SUBTYPE_REGISTRATION (32773)
LSLength	2 octets	Nombre d'octets supplémentaires dans l'en-tête de contrôle, commençant avec le champ LSVersion et finissant avec le second (dernier) octet du champ Next Ethertype. Le minimum de LSLength est 4 pour LSVersion 0.

Tableau 10-55/G.9954 – Message de demande d'enregistrement

Champ	Longueur	Signification
LSVersion	1 octet	= 0
MsgType	1 octet	Type de message pour la demande d'enregistrement (0)
Registration Data	0-65531 octets	Informations d'enregistrement envoyées par l'appareil au maître. Inclut les capacités de l'appareil, les informations d'identification, etc. Registration Data est facultatif et à TLV codé.
Next Ethertype	2 octets	= 0
Pad		Bourrage pour atteindre minFrameSize si nécessaire.
FCS	4 octets	Séquence de vérification de trame

Un appareil qui génère un message d'enregistrement peut inclure les paramètres suivants dans les données d'enregistrement.

Tableau 10-56/G.9954 – Paramètres d'enregistrement

Champ	Longueur	Signification
SETag	1 octet	= 2, Identité d'appareil
SELength	1 octet	Longueur totale de l'extension de TLV sans les octets d'étiquette et de longueur (84 octets).
Primary_ID	4 octets	Voir le protocole de CERT et DIAG, § 10.9.6, Tableau 10-27
Subsystem_ID	4 octets	Voir le protocole de CERT et DIAG, § 10.9.6, Tableau 10-27
Vend_Date	4 octets	Voir le protocole de CERT et DIAG, § 10.9.6, Tableau 10-27
Manuf_Date	4 octets	Voir le protocole de CERT et DIAG, § 10.9.6, Tableau 10-27
Serial_Num	16 octets	Voir le protocole de CERT et DIAG, § 10.9.6, Tableau 10-27
Vend_Name	32 octets	Voir le protocole de CERT et DIAG, § 10.9.6, Tableau 10-27
Vend_Driver	16 octets	Voir le protocole de CERT et DIAG, § 10.9.6, Tableau 10-27
OUI	3 octets	Voir le protocole de CERT et DIAG, § 10.9.6, Tableau 10-27
Device_Type	1 octet	Voir le protocole de CERT et DIAG, § 10.9.6, Tableau 10-27
Vendor Specific	1+ octets	Extension codée de TLV spécifique du fabricant
SETag	1 octet	= 3, capacités de l'appareil
SELength	1 octet	Longueur totale de l'extension de TLV sans les octets d'étiquette et de longueur (3 octets).
Max_Flows	1 octet	Nombre maximal de flux acceptés par l'appareil de point d'extrémité.
Max Classifiers	1 octet	Nombre maximal de classeurs qui peuvent être installés simultanément dans la couche de convergence.
Master_Capability	1 octet	T = l'appareil est capable de devenir maître.
Master Priority	1 octet	Priorité destinée au maître si l'appareil a la capacité de devenir maître.
Vendor Specific	1+ octets	Extension codée de TLV spécifique du fabricant.

Le message de réponse d'enregistrement (Tableau 10-57) doit être envoyé par le maître à un appareil en réponse à une demande d'enregistrement.

Tableau 10-57/G.9954 – Message de réponse d'enregistrement

Champ	Longueur	Signification
DA	6 octets	Adresse de destination
SA	6 octets	Adresse de source
Ethertype	2 octets	0x886c (trame de contrôle de liaison PNT)
LSType	2 octets	= SUBTYPE_REGISTRATION (32772)
LSLength	2 octets	Nombre d'octets supplémentaires dans l'en-tête de contrôle, commençant avec le champ LSVersion et finissant avec le second (dernier) octet du champ Next Ethertype. Le minimum de LSLength est 6 pour LSVersion 0.
LSVersion	1 octet	= 0
MsgType	1 octet	Type de message pour Réponse d'enregistrement (1)
DeviceID	1 octet	ID d'appareil alloué à l'appareil par le maître
Status	1 octet	Etat de demande d'enregistrement. 0 OK. Appareil enregistré 1 Erreur.
Configuration Data	0-65530 octets	Informations de configuration réseau retournées par le maître si l'enregistrement de l'appareil est réussi. Ces informations sont facultatives et à TLV codé.
Next Ethertype	2 octets	= 0
Pad		Bourrage pour atteindre minFrameSize si nécessaire.
FCS	4 octets	Séquence de vérification de trame

Le maître répond à une Demande d'enregistrement par une Réponse d'enregistrement. Les informations suivantes doivent être retournées dans la Réponse d'enregistrement:

Etat

Un code de retour d'état indiquant le succès ou l'échec de la demande d'enregistrement.

ID d'appareil

Un identifiant d'appareil alloué par le maître à l'appareil avec l'adresse MAC spécifiée.

Données de configuration

Les données de configuration réseau sont facultatives et peuvent être spécifiques du fabricant. Elles peuvent être utilisées pour communiquer:

- des paramètres de configuration pour l'ensemble du réseau
- les capacités du maître
- des informations de sécurité
- des informations d'approvisionnement de service.

Le Tableau 10-58 décrit les valeurs qui peuvent apparaître dans l'entrée MsgType de la trame de contrôle d'enregistrement.

Tableau 10-58/G.9954 – Valeurs de MsgType

MsgType	Signification
0	Demande d'enregistrement
1	Réponse d'enregistrement
2-255	Réservé

10.15.6 Termes et paramètres

- REG_PERIOD – Quantité de temps maximal entre les TXOP qui peuvent être utilisées pour envoyer des demandes d'enregistrement. La valeur de REG_PERIOD est de 50 millisecondes.
- MAX_RETRIES – Nombre de fois qu'un point d'extrémité devrait essayer de s'enregistrer auprès du maître avant de réinitialiser l'appareil. La valeur de MAX_RETRIES est 5.

10.15.6.1 Temporisateurs

- T0 – Temporisateur à utilisation unique établi après la transmission d'un message REG_REQUEST. Utilisé pour mesurer le temps d'attente de la REG_RESPONSE provenant du maître avant de reformuler la demande. Ce temporisateur est annulé si une REG_RESPONSE est reçue.
- RetransmitTimer – Temporisateur à utilisation unique, établi à un intervalle aléatoire dans la gamme de 1 ms à 1000 ms, inclus. Utilisé pour régler les temps de d'attente avant le renvoi d'une REG_REQUEST dans le cas d'une collision durant la transmission au sein d'une TXOP REGISTRATION. Les collisions au sein d'une UTXOP peuvent être résolues en utilisant les méthodes de résolution de collision de SMAC.
- AgeingTimer – Temporisateur périodique d'une période de 180 secondes utilisé pour déterminer quels appareils enregistrés ont été actifs dans l'envoi de trames CSA.

10.16 Protocole de choix du maître

Un réseau G.9954 requiert l'existence d'un nœud de réseau qui joue le rôle de maître afin de coordonner et programmer les transmissions sur le support. Bien qu'un maître soit nécessaire pour un réseau fonctionnant en mode SMAC, tous les nœuds de réseau n'ont pas nécessairement les fonctionnalités pour devenir un maître. Parmi ceux qui ont les capacités requises, tous peuvent devenir maître.

Un réseau domestique qui contient plus d'un nœud de réseau ayant la capacité de devenir le maître permet une récupération rapide en cas de défaillance du maître et est par nature plus tolérant aux fautes/défaillances. Un protocole de choix de maître doit être utilisé pour choisir de façon dynamique un seul maître en présence de plusieurs maîtres potentiels.

Le protocole utilisé pour découvrir et choisir un seul maître, connu sous le nom de Protocole de choix du maître, est décrit dans le paragraphe suivant.

10.16.1 Détection d'un réseau géré

Après la mise sous tension, un appareil G.9954 (configuré pour le mode G.9954) essaye d'abord de détecter s'il fonctionne dans un réseau contrôlé par un maître, en repérant des trames de contrôle de MAP et en se synchronisant avec le cycle MAC. Si aucune trame de MAP n'est détectée après l'intervalle master_DETECTION_TIMEOUT (T0), l'appareil peut conclure qu'il n'y a pas de maître en cours sur le réseau. Si l'appareil dispose de la capacité de maître et veut devenir le maître, il est capable de présenter sa candidature comme maître du réseau. Si une trame de contrôle de MAP est reçue, l'appareil doit se synchroniser avec le cycle MAC publié et procéder comme un appareil de point d'extrémité normal.

10.16.2 Procédure de choix du maître

S'il s'avère que le réseau n'est pas géré et qu'un appareil a la capacité de devenir maître et qu'il le souhaite, il peut présenter sa candidature en diffusant une trame de contrôle master_SELECTION en utilisant le mode de transmission asynchrone de G.9954. Comme plusieurs appareils capables de devenir maître peuvent être actifs sur le réseau en même temps, la procédure de choix du maître comporte le mécanisme qui permet aux autres maîtres potentiels de concourir pour le choix du maître du réseau.

Le choix du maître doit être effectué conformément à la priorité relative des maîtres. Chaque appareil ayant la capacité de maître doit se voir allouer une priorité en utilisant les paramètres de configuration ou de gestion. Cette priorité jointe à l'adresse MAC d'appareil doit être publiée dans la trame de contrôle master_SELECTION. A réception d'une trame de contrôle master_SELECTION, les nœuds G.9954 qui sont eux-mêmes capables de devenir maître, peuvent comparer la priorité du candidat maître potentiel avec leur propre priorité allouée afin de déterminer s'il est un "meilleur" candidat. Si il est un "meilleur" candidat et qu'il souhaite concourir pour le rôle de maître, il doit diffuser une trame de contrôle master_SELECTION dans l'intervalle master_SELECTION_TIMEOUT (T1).

Si un autre "meilleur" candidat n'est pas proposé dans l'intervalle master_SELECTION_TIMEOUT (T1), le candidat maître assume le rôle de maître et peut commencer l'émission de trames de contrôle de MAP. Si un autre candidat est proposé, le maître ayant la plus haute priorité doit être désigné comme maître. S'il y a plusieurs candidats avec la même priorité, l'appareil avec la plus faible adresse MAC doit être choisi comme maître.

Toutes les stations qui ont abandonné leur chance de devenir maître devraient rester silencieuses jusqu'à la réception de la trame de contrôle de MAP du maître choisi.

10.16.3 Détection de défaillance du maître et récupération

Un maître est réputé "défaillant" si la synchronisation avec le maître est perdue. La synchronisation est perdue lorsqu'une trame de contrôle de MAP n'est pas reçue dans l'intervalle master_DETECTION_TIMEOUT (T0) qui suit la dernière trame de contrôle de MAP. Sur détection d'une défaillance du maître, le maître peut effectuer une fermeture arrangée en invitant à un processus de choix de maître par l'envoi d'une trame de contrôle master_SELECTION avec une priorité déclarée de zéro.

10.16.4 Machine d'état de choix de maître

La Figure 10-11 donne une illustration des transitions d'état avec une perte de détails mineurs, y compris l'omission des événements qui ne causent pas de transition d'état (et n'ont pas d'actions associées), de la logique de décision au sein d'un état qui conduit à la survenance d'un événement et la représentation des conditions complexes comme un événement "logique" de haut niveau.

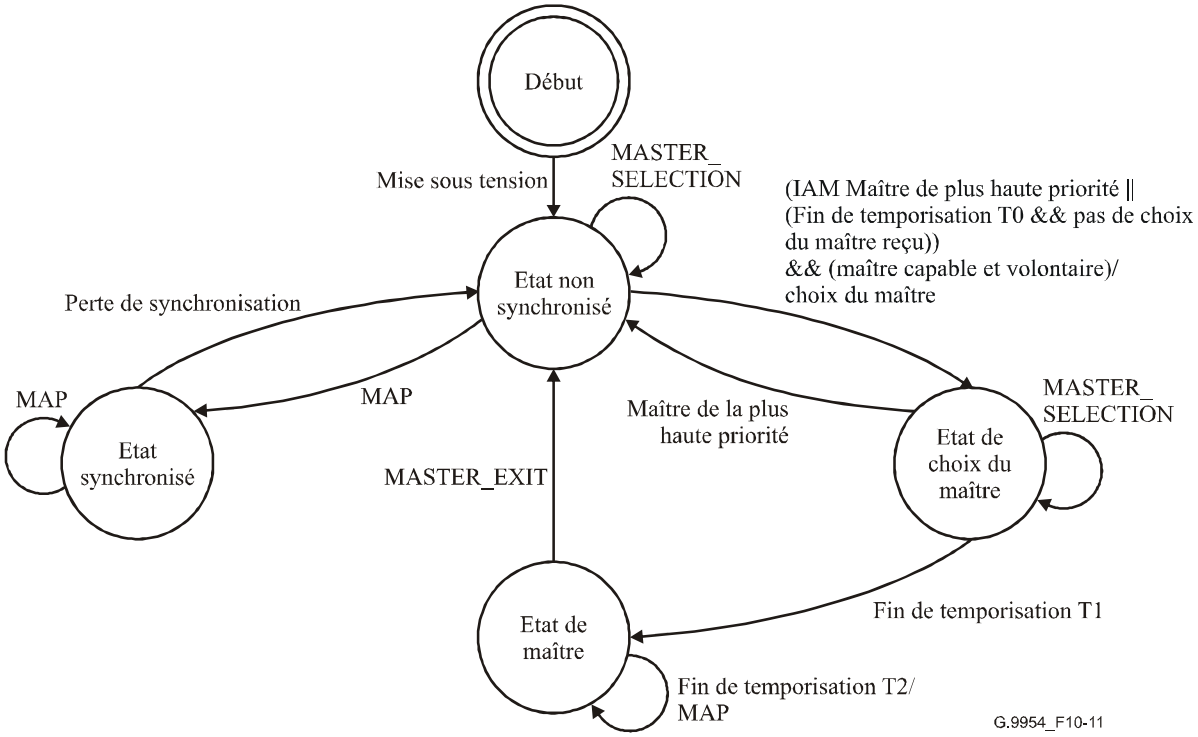

Figure 10-11/G.9954 – Diagramme d'état de choix de maître

La Figure 10-12 et la Figure 10-13 fournissent une description complète du protocole de choix du maître.

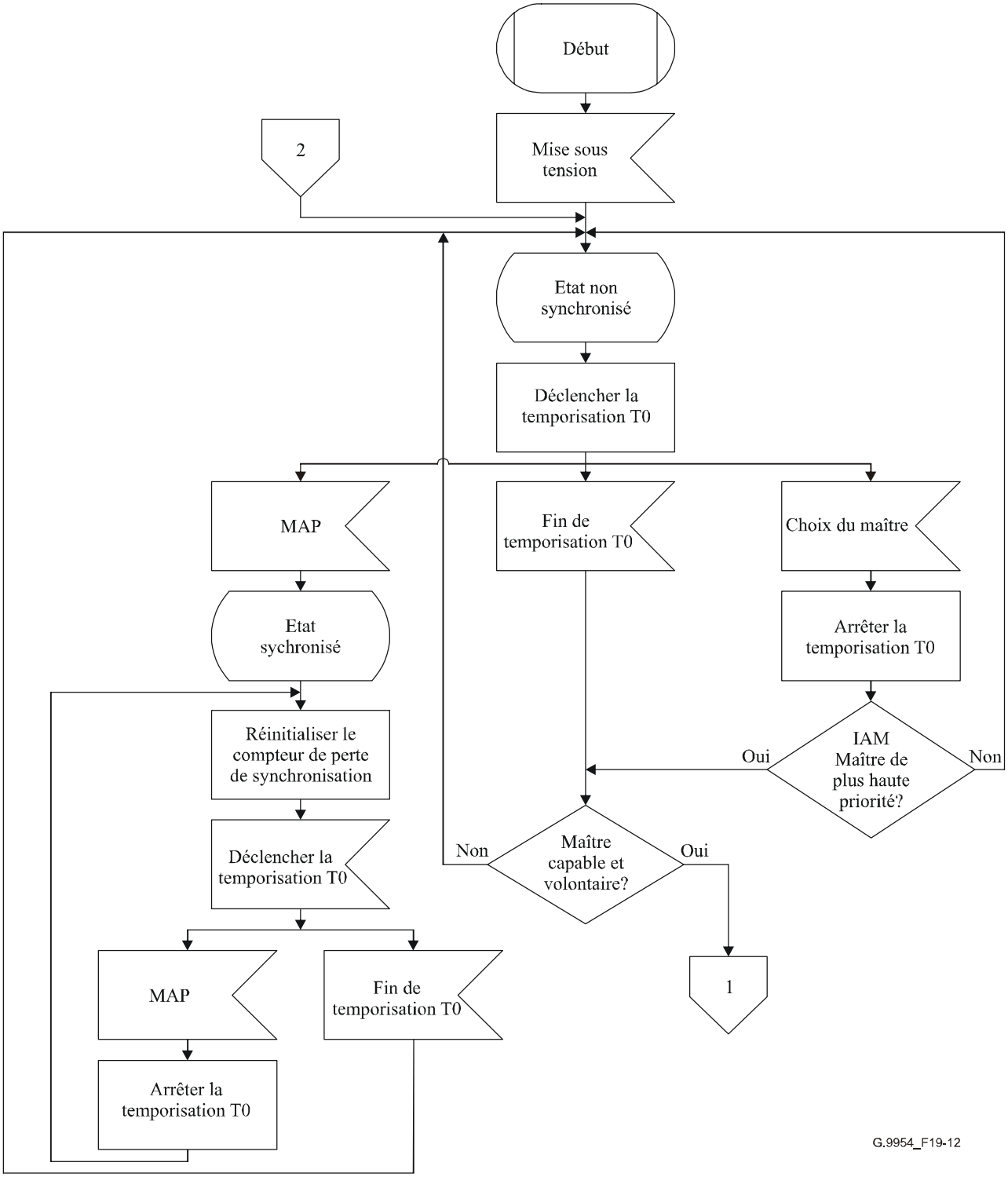

Figure 10-12/G.9954 – Diagramme SDL du protocole de choix du maître

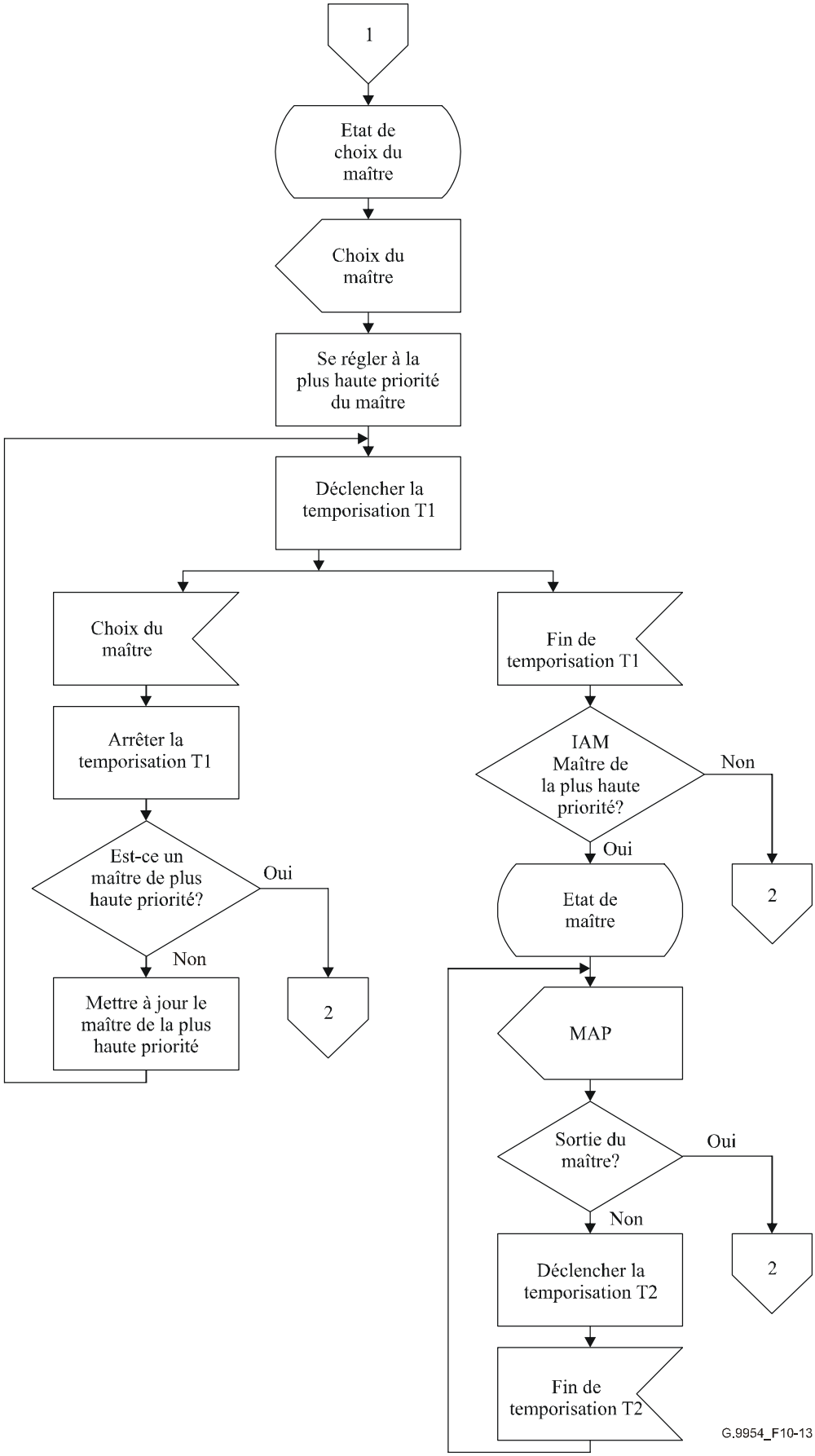

Figure 10-13/G.9954 – Diagramme SDL du protocole de choix du maître (fin)

10.16.5 Messages du protocole de choix du maître

Tableau 10-59/G.9954 – Trame de contrôle de choix du maître

Champ	Longueur	Signification
DA	6 octets	Adresse de destination (adresse de diffusion ou multidiffusion)
SA	6 octets	Adresse de source de l'appareil demandant à devenir maître
Ethertype	2 octets	0x886c (trame de contrôle de liaison PNT)
SSType	1 octet	= SUBTYPE_master_SELECTION (8)
SSLength	1 octet	Nombre d'octets supplémentaires dans l'en-tête de contrôle, commençant avec le champ LSVersion et finissant avec le second (dernier) octet du champ Next Ethertype. SSLength est 4 pour SSVersion 0.
SSVersion	1 octet	= 0
Priority	1 octet	Priorité de maître allouée. Utilisée pour classer les maîtres potentiels dans un ordre qui prenne en charge le choix de priorité. Les valeurs de priorité sont de 0 à 255 avec les nombres les plus élevés représentant les plus hautes priorités. La priorité 0 est réservée et peut être utilisée par un maître pour diffuser son désir de renoncer à son rôle de maître.
Next Ethertype	2 octets	= 0
Pad	40 octets	
FCS	4 octets	

10.16.6 Termes et paramètres

10.16.6.1 Temporisateurs

- T0 – Temporisateur à utilisation unique, réglé à la valeur de 150 ms, qui sert à détecter l'absence de maître sur le réseau. Le temporisateur est établi par un appareil ayant la capacité de maître sur entrée dans l'état *non synchronisé*. Un appareil est dans l'état *non synchronisé* lorsqu'il s'éveille pour la première fois et après un cycle MAC SYNC_LOSS. Le temporisateur est annulé à l'arrivée d'une trame de contrôle de MAP. (Voir le § 10.14). Si le temporisateur T0 arrive à expiration, un appareil ayant la capacité de maître peut publier son intention de devenir maître.
- T1 – Temporisateur à utilisation unique établi après la transmission ou la réception d'un message de protocole master_SELECTION. Ce temporisateur sert à ouvrir une durée de négociation entre les appareils ayant la capacité de maître pour le rôle de maître. Après l'arrivée à expiration du temporisateur T1, un appareil ayant la capacité de maître peut décider s'il est le maître choisi sur la base de sa priorité et de son adresse MAC. Le temporisateur T1 est réarmé à l'arrivée d'une trame de contrôle de choix de maître. La valeur du temporisateur T1 est de 50 ms.
- T2 – Temporisateur à utilisation unique établi par le maître pour mesurer la longueur du cycle MAC. La valeur de T2 est variable et dépend du programmeur. Lorsque le temporisateur T2 arrive à expiration, le plan MAP pour le prochain cycle MAC est envoyé.

10.17 Protocole de signalisation de flux

Le protocole de signalisation de flux sert à établir de façon dynamique et à gérer les flux de service avec paramètres de qualité de service et les filtres de classement de trafic définis par les protocoles de couches supérieures. Plus précisément, le protocole de signalisation de flux sert à effectuer les fonctions relatives aux flux suivantes:

- établir des filtres de classement de flux et de trafic;
- modifier des paramètres de flux et ajouter ou supprimer des filtres de classement;
- supprimer des flux;
- rechercher des paramètres de qualité de service pour un flux ou une classe de service.

Le protocole de signalisation de flux doit être effectué entre des appareils G.9954 à la source et à la destination d'un flux et il servira à établir des paramètres de qualité de service pour le flux. Dans un réseau contrôlé par un maître, la signalisation de flux doit aussi être effectuée entre l'appareil G.9954 à la source du flux et le maître, si de la bande passante réservée est nécessaire. Le protocole de signalisation de flux peut être lancé par l'appareil de source ou par l'appareil de destination impliqué dans un flux monodiffusion, ou par l'appareil de source dans un flux de diffusion/multidiffusion ou par le maître.

En général, le protocole de signalisation de flux implique une prise de contact à trois. La prise de contact permet la négociation des paramètres de flux entre les appareils de source et de destination et entre les appareils de source du flux et le maître.

La signalisation de flux avec le maître sert à réserver de la bande passante du support pour un flux afin de contractualiser le débit de qualité de service, les paramètres de délai de latence/gigue et de BER. Le maître doit être responsable de la réalisation du contrôle d'admission sur les demandes d'établissement de flux afin de valider qu'existent des ressources suffisantes du support et que peut être satisfaite la qualité de service spécifiée par les paramètres de flux. Si le flux est admis par le maître, les opportunités de transmission (TXOP) du support doivent être allouées dans le Plan d'accès au support pour l'usage exclusif du flux.

Dans un réseau sans maître, la signalisation de flux peut être de façon similaire utilisée pour communiquer et négocier les paramètres de flux entre les appareils de source et de destination. Cela permet de prendre en charge une négociation de débit fine au niveau du flux pour les flux qui ont des exigences de BER/PER différentes. Cela prend aussi en charge un schéma d'agrégation de rafale de trames qui prend en compte les exigences de délai de latence du flux et les contraintes de mémoire de l'appareil de source et de destination.

La destination d'un flux peut être un seul appareil identifié par une adresse de destination en diffusion unique ou bien un groupe d'appareils, identifiés par une adresse de diffusion ou de multidiffusion. Le protocole de signalisation de flux pour un groupe d'appareils n'exige pas une prise de contact à trois comme pour un établissement de flux en monodifffusion. Les paramètres de flux sont plutôt diffusés au groupe et aucune réponse n'est nécessaire. Les membres du groupe sont toujours capables de lancer une demande explicite de paramètres de flux (à partir de la source du flux) pour un flux qu'ils écoutent activement ou de lancer de façon indépendante la suppression d'un flux inactif.

Le reste du présent paragraphe décrit les détails du protocole de signalisation de flux et les formats de trame de contrôle de signalisation de flux.

10.17.1 Trames de contrôle de signalisation de flux

La trame de contrôle SETUP/MODIFY_FLOW_REQUEST (voir Tableau 10-60) sert à demander l'établissement ou la modification d'un flux. Le flux établi ou modifié est identifié en utilisant le tuplet { FS_SA, FS_DA, FS_FlowID }. La demande d'établissement de flux sert à établir un flux avec un ensemble défini de paramètres de flux de qualité de service. Une demande de modification

de flux sert à modifier un paramètre de flux de qualité de service pour un flux existant. Dans les deux cas, les paramètres de flux sont toujours définis pour les demandes d'établissement et de modification et apparaissent dans une ou les deux formes décrites au § 10.17.1.1. Facultativement, des classeurs de flux peuvent être installés à la source d'un flux en utilisant la structure de TLV *FlowClassifier* (voir le § 10.17.1.2).

Tableau 10-60/G.9954 – Trame de contrôle de demande d'établissement/modification de flux

Champ	Longueur	Signification
DA	6 octets	Adresse de destination. FS_DA ou adresse du maître
SA	6 octets	Adresse de source
Ethertype	2 octets	0x886c (trame de contrôle de liaison PNT)
LSType	2 octets	= SUBTYPE_FLOW_SIGNALLING (32774)
LSLength	2 octets	Nombre d'octets supplémentaires dans l'en-tête de contrôle, commençant avec le champ LSVersion et finissant avec le second (dernier) octet du champ Next Ethertype. Le minimum de LSLength est 58 pour LSVersion 0.
LSVersion	1 octet	= 0
MsgType	1 octet	Type de message pour SETUP/MODIFY_FLOW_REQUEST (0,3) comme défini au Tableau 10-66.
Request_Key	2 octets	Clé de demande unique servant à corréler les messages de protocole réponse/confirmation.
FS_SA	6 octets	Adresse MAC de la station à la source du flux. Ne correspond pas nécessairement à SA.
FS_DA	6 octets	Adresse MAC de la station à la destination du flux. Ne correspond pas nécessairement à DA.
FS_FlowID	1 octet	Identifiant unique du flux entre la source du flux (FS_SA) et la destination du flux (FS_DA). L'identifiant du flux est alloué localement par l'appareil à la source du flux. Si la demande d'établissement du flux n'est pas lancée par le flux de source, l'identifiant du flux doit être spécifié comme NULL *(néant)*.
FS_DeviceID	1 octet	ID d'appareil identifiant l'appareil qui demande l'établissement ou la modification du flux. L'ID d'appareil est celui qui est alloué par le maître durant le processus d'enregistrement.
FlowParameters	50 octets	Propriétés de qualité de service du flux à établir. Les propriétés de flux sont décrites comme une structure codée de TLV comme défini au Tableau 10-67.
FlowClassifiers	N octets	Spécification des classeurs de flux servant à identifier un paquet appartenant à un flux. Les classeurs de flux sont facultatifs et sont décrits par une structure codée de TLV comme défini au Tableau 10-67. Plus d'un classeur de flux peut être défini.
Next Ethertype	2 octets	= 0
Pad	Variable	
FCS	4 octets	Séquence de vérification de trame

La trame de contrôle SETUP/MODIFY_FLOW_RESPONSE (voir le Tableau 10-61) doit être retournée en réponse à une SETUP/ MODIFY_FLOW_REQUEST. La réponse est associée à la demande correspondante en utilisant la *Clé de demande* unique allouée par le demandeur. La réponse contient un état indiquant si la demande a réussi, et dans le cas où les paramètres de flux demandés doivent être négociés ou modifiés par rapport aux valeurs demandées, les paramètres modifiés sont retournés dans une structure de TLV *Paramètres de flux*.

Tableau 10-61/G.9954 – Trame de contrôle de réponse à établissement/modification de flux

Champ	Longueur	Signification
DA	6 octets	Adresse de destination
SA	6 octets	Adresse de source
Ethertype	2 octets	0x886c (trame de contrôle de liaison PNT)
LSType	2 octets	= SUBTYPE_FLOW_SIGNALLING (32774)
LSLength	2 octets	Nombre d'octets supplémentaires dans l'en-tête de contrôle, commençant avec le champ LSVersion et finissant avec le second (dernier) octet du champ Next Ethertype. Le minimum de LSLength est 60 pour LSVersion 0.
LSVersion	1 octet	= 0
MsgType	1 octet	Type de message pour SETUP/MODIFY_FLOW_RESPONSE (1,4) comme défini au Tableau 10-66.
Request_Key	2 octets	Clé servant à identifier la demande associée à la réponse
FS_SA	6 octets	Adresse MAC de station à la source du flux. Ne correspond pas nécessairement à SA.
FS_DA	6 octets	Adresse MAC de station à la destination du flux. Ne correspond pas nécessairement à DA.
FS_FlowID	1 octet	Identifiant unique du flux entre la source du flux (FS_SA) et la destination du flux (FS_DA). Si la demande d'établissement du flux n'est pas lancée par la source du flux, l'identifiant de flux doit être retourné dans la réponse d'établissement de flux.
Status	1 octet	Etat de la demande d'établissement de flux
FS_TXOPID	2 octets	Identifiant utilisé pour identifier les TXOP réservées (allouées) par le maître pour les transmissions de flux. Ce champ n'est alloué que par le maître en réponse à une demande d'établissement de flux.
FlowParameters	N octets	Paramètres de flux retournés en réponse. Les paramètres de flux retournés sont ceux qui diffèrent des paramètres de la demande correspondante. Les paramètres de flux sont ceux définis au Tableau 10-69.
Next Ethertype	2 octets	= 0
Pad	Variable	Bourrage pour atteindre minFrameSize si nécessaire.
FCS	4 octets	Séquence de vérification de trame

La trame de contrôle SETUP/MODIFY_FLOW_CONFIRM (voir le Tableau 10-62) doit être utilisée pour terminer le protocole d'établissement/modification de flux. La séquence établissement/modification de flux est identifiée par la même *Request_Key* allouée durant la phase de demande du protocole. Le champ *Confirmation* sert à indiquer l'acceptation ou le rejet de la transaction de signalisation de flux.

Tableau 10-62/G.9954 – Trame de contrôle de confirmation d'établissement/modification de flux

Champ	Longueur	Signification
DA	6 octets	Adresse de destination
SA	6 octets	Adresse de source
Ethertype	2 octets	0x886c (trame de contrôle de liaison PNT)
LSType	2 octets	= SUBTYPE_FLOW_SIGNALLING (32774)
LSLength	2 octets	Nombre d'octets supplémentaires dans l'en-tête de contrôle, commençant avec le champ LSVersion et finissant avec le second (dernier) octet du champ Next Ethertype. LSLength est de 8 pour LSVersion 0.
LSVersion	1 octet	= 0
MsgType	1 octet	Type de message pour SETUP/MODIFY_FLOW_CONFIRM (2,5) comme défini au Tableau 10-66.
Request_Key	2 octets	Clé servant à identifier la confirmation avec la séquence demande-réponse.
FS_SA	6 octets	Adresse MAC de station à la source du flux. Ne correspond pas nécessairement à SA.
FS_DA	6 octets	Adresse MAC de station à la destination du flux. Ne correspond pas nécessairement à DA.
FS_FlowID	1 octet	Identifiant de flux alloué par la source du flux. Si une demande d'établissement de flux n'est pas lancée par la source du flux, l'identifiant de flux doit être retourné dans la réponse à établissement de flux.
Confirmation	1 octet	Code de confirmation pour la séquence de protocole de flux d'établissement.
FS_TXOPID	2 octets	Identifiant servant à identifier les TXOP réservées (allouées) par le maître pour les transmissions de flux. Ce champ n'est alloué que par le maître en réponse à une demande d'établissement de flux.
FlowParameters	N octets	Paramètres de flux, figurant dans la réponse de flux d'établissement/modification, et exigeant une renégociation. La structure de paramètres de flux est facultative et codée en TLV comme décrit au Tableau 10-69.
Next Ethertype	2 octets	= 0
Pad	Variable	
FCS	4 octets	Séquence de vérification de trame

La trame de contrôle FLOW_TEARDOWN_REQEST doit être utilisée pour demander la suppression d'un flux. Le flux est identifié par le tuplet { FS_SA, FS_DA, FS_FlowID }. La transaction de suppression de flux se termine par la réception de la trame de contrôle FLOW_TEARDOWN_RESPONSE (voir Tableaux 10-63 et 10-64).

Tableau 10-63/G.9954 – Trame de contrôle de demande de suppression de flux

Champ	Longueur	Signification
DA	6 octets	Adresse de destination
SA	6 octets	Adresse de source
Ethertype	2 octets	0x886c (trame de contrôle de liaison PNT)
LSType	2 octets	= SUBTYPE_FLOW_SIGNALLING (32774)
LSLength	2 octets	Nombre d'octets supplémentaires dans l'en-tête de contrôle, commençant avec le champ LSVersion et finissant avec le second (dernier) octet du champ Next Ethertype. LSLength est de 20 pour LSVersion 0.
LSVersion	1 octet	= 0
MsgType	1 octet	Type de message pour TEARDOWN_FLOW_REQUEST(6) comme défini au Tableau 10-66.
Request_Key	2 octets	Clé utilisée pour identifier la demande de suppression
FS_SA	6 octets	Adresse MAC de station à la source du flux
FS_DA	6 octets	Adresse MAC de station à la destination du flux
FS_FlowID	1 octet	ID du flux à supprimer
FS_Pad	1 octet	Ignoré à réception
Next Ethertype	2 octets	= 0
Pad	24 octets	
FCS	4 octets	Séquence de vérification de trame

Tableau 10-64/G.9954 – Trame de contrôle de réponse à suppression de flux

Champ	Longueur	Signification
DA	6 octets	Adresse de destination
SA	6 octets	Adresse de source
Ethertype	2 octets	0x886c (trame de contrôle de liaison PNT)
LSType	2 octets	= SUBTYPE_FLOW_SIGNALLING (32774)
LSLength	2 octets	Nombre d'octets supplémentaires dans l'en-tête de contrôle, commençant avec le champ LSVersion et finissant avec le second (dernier) octet du champ Next Ethertype. LSLength est de 8 pour LSVersion 0.
LSVersion	1 octet	= 0
MsgType	1 octet	Type de message pour TEARDOWN_FLOW_RESPONSE(7) comme défini au Tableau 10-66.
Request_Key	2 octets	Clé utilisée pour identifier la demande de suppression
FS_SA	6 octets	Adresse MAC de station à la source du flux
FS_DA	6 octets	Adresse MAC de station à la destination du flux
FS_FlowID	1 octet	ID du flux à supprimer
Status	1 octet	Etat de la demande de suppression
Next Ethertype	2 octets	= 0
Pad	36 octets	
FCS	4 octets	Séquence de vérification de trame

La trame de contrôle GET_FLOW_PARAMS_REQUEST doit être utilisée pour demander les paramètres de flux pour un flux donné identifié par le tuplet { FS_SA, FS_DA, FS_FlowID }. Les paramètres de flux sont retournés dans la trame de contrôle GET_FLOW_PARAMS_RESPONSE (voir Tableaux 10-65 et 10-65a).

Tableau 10-65/G.9954 – Trame de contrôle de demande d'obtention des paramètres

Champ	Longueur	Signification
DA	6 octets	Adresse de destination. FS_SA ou adresse du maître.
SA	6 octets	Adresse de source
Ethertype	2 octets	0x886c (trame de contrôle de liaison PNT).
LSType	2 octets	= SUBTYPE_FLOW_SIGNALLING (32774).
LSLength	2 octets	Nombre d'octets supplémentaires dans l'en-tête de contrôle, commençant avec le champ LSVersion et finissant avec le second (dernier) octet du champ Next Ethertype. Le minimum de LSLength est de 18 pour LSVersion 0.
LSVersion	1 octet	= 0
MsgType	1 octet	Type de message pour GET_FLOW_PARAMS_REQUEST (8) comme défini au Tableau 10-66.
Request_Key	2 octets	Clé utilisée pour identifier la demande de suppression
FS_SA	6 octets	Adresse MAC de station à la source du flux. Ne correspond pas nécessairement à SA.
FS_DA	6 octets	Adresse MAC de station à la destination du flux. Ne correspond pas nécessairement à DA.
FS_FlowID	1 octet	Identité du flux entre FS_SA et FS_DA qui est demandée
FS_pad	1 octet	Ignoré à réception
Next Ethertype	2 octets	= 0
Pad	0 octet	
FCS	4 octets	Séquence de vérification de trame

Tableau 10-65a/G.9954 – Trame de contrôle de réponse d'obtention des paramètres

Champ	Longueur	Signification
DA	6 octets	Adresse de destination. FS_SA ou adresse du maître.
SA	6 octets	Adresse de source
Ethertype	2 octets	0x886c (trame de contrôle de liaison PNT)
LSType	2 octets	= SUBTYPE_FLOW_SIGNALLING (32774)
LSLength	2 octets	Nombre d'octets supplémentaires dans l'en-tête de contrôle, commençant avec le champ LSVersion et finissant avec le second (dernier) octet du champ Next Ethertype. Le minimum de LSLength est 50 pour LSVersion 0.
LSVersion	1 octet	= 0
MsgType	1 octet	Type de message pour GET_FLOW_PARAMS_RESPONSE (9) comme défini au Tableau 10-66.
Request_Key	2 octets	Clé utilisée pour identifier la demande de suppression

Tableau 10-65a/G.9954 – Trame de contrôle de réponse d'obtention des paramètres

Champ	Longueur	Signification
FS_DA	6 octets	Adresse MAC de station à la destination du flux. Ne correspond pas nécessairement à DA.
FS_FlowID	1 octet	Identité du flux entre FS_SA et FS_DA qui est demandée
Status	1 octet	Etat de la demande d'obtention de paramètres de flux
FlowProperties	32 octets	Propriétés de qualité de service du flux spécifiées dans la trame de contrôle correspondante
Next Ethertype	2 octets	= 0
Pad	Variable	
FCS	4 octets	Séquence de vérification de trame

Le Tableau 10-66 décrit les valeurs de MsgType utilisées dans la trame de contrôle de signalisation de flux.

Tableau 10-66/G.9954 – Types de messages de protocole de signalisation de flux

MsgType	Signification
0	SETUP_FLOW_REQUEST (*demande d'établisssement de flux*)
1	SETUP_FLOW_RESPONSE (*réponse d'établisssement de flux*)
2	SETUP_FLOW_CONFIRM (*confirmation d'établisssement de flux*)
3	MODIFY_FLOW_REQUEST (*demande de modification de flux*)
4	MODIFY_FLOW_RESPONSE (*réponse de modification de flux*)
5	MODIFY_FLOW_CONFIRM (*confirmation de modification de flux*)
6	TEARDOWN_FLOW_REQUEST (*demande de suppression de flux*)
7	TEARDOWN_FLOW_RESPONSE (*réponse de suppression de flux*)
8	GET_FLOW_PARAMS_REQUEST (*demande d'obtention de paramètres de flux*)
9	GET_FLOW_PARAMS_RESPONSE (*réponse d'obtention de paramètres de flux*)
10-127	Réservé
128-135	Réservé pour notification par le maître des messages de demande réponse et confirmation d'établissement, modification et suppression de flux.

10.17.1.1 Paramètres de flux

Les paramètres de flux sont spécifiés dans les Trames de contrôle de signalisation de flux en utilisant une des deux sortes de structures codées de TLV:

1) structure de spécification de flux (voir le Tableau 10-67);

2) structure de paramètres de flux (voir le Tableau 10-68).

La première structure (voir le Tableau 10-67), "*Spécification de flux*" décrit chaque paramètre de qualité de service dans une spécification de flux et peut être utilisée par une station lors de l'établissement d'un flux ou lors d'une réponse à GET_FLOW_PARAMS_REQUEST.

Tableau 10-67/G.9954 – Structure de TLV de spécification de flux

Champ	Longueur	Signification
SETag	1 octet	= FS_PARAMS_TAG (2)
SELength	1 octet	Longueur totale de l'extension de TLV sauf les octets d'étiquette et de longueur (= 30).
Subtype	2 octets	= Spécification de flux (0)
ControlWord#1	2 octets	Voir le Tableau 10-69 item 2
ControlWord#2	2 octets	Voir le Tableau 10-69 item 3
PacketSize	2 octets	Voir le Tableau 10-69 item 4
MaxPacketSize	2 octets	Voir le Tableau 10-69 item 5
MaxDataRate	2 octets	Voir le Tableau 10-69 item 6
AvgDataRate	2 octets	Voir le Tableau 10-69 item 7
MinDataRate	2 octets	Voir le Tableau 10-69 item 8
BER	1 octet	Voir le Tableau 10-69 item 9
PE	1 octet	Voir le Tableau 10-69 item 10
PacketTimeout	4 octets	Voir le Tableau 10-69 item 11
TXTimeslot	4 octets	Voir le Tableau 10-69 item 12
FlowTimeout	4 octets	Voir le Tableau 10-69 item 13

La seconde structure, "*Paramètres de flux*" est une structure incrémentaire qui peut être utilisée pour rapporter les paramètres individuels de flux de qualité de service ou ensembles de paramètres. Elle doit être utilisée pour notifier les changements des paramètres de qualité de service spécifiques ou changements d'un ensemble spécifique de paramètres de qualité de service.

Tableau 10-68/G.9954 – Structure de TLV de paramètres de flux

Champ	Longueur	Signification
SETag	1 octet	= FS_PARAMS_TAG (2)
SELength	1 octet	Longueur totale de l'extension de TLV sauf les octets d'étiquette et de longueur. La longueur minimale est de 3 et le maximum est de 49.
Subtype	2 octets	= Paramètres de flux (1)
FPType	1 octet	Voir le Tableau 10-69
FPLength	1 octet	Voir le Tableau 10-69
FlowParameter	1-4 octets	Voir le Tableau 10-69
• • •		[instances supplémentaires de paramètres de flux]

Le Tableau 10-69 décrit les paramètres de flux utilisés dans les trames de contrôle de signalisation de flux. L'ombrage en diagonales sert à montrer comment se fait la décomposition des champs d'octet et de mots en champs binaires.

Tableau 10-69/G.9954 – Propriétés des flux

N°	Nom du paramètre	FPType	FPLength (octets)	Valeurs	Commentaires
1	Pad	00	1	0	
2	Control Word #1 *(mot de contôle n° 1)*	0x01	2		Le mot de contrôle est décodé comme indiqué immédiatement ci-dessous:
	Priority *(priorité)*		Bits 13:15	0-7	Priorité allouée au flux. Peut être utilisé pour la sémantique de priorité G.9951/2.
	Service Type *(type de service)*		Bits 10:12	0-3	Définit le type de service accepté par le flux: 0 CBR 1 rt-VBR 2 nrt-VBR 3 BE 4~7 Réservé
	Max. Latency *(délai de latence maximal)*		Bits 5:9	0-16	Délai maximal tolérable de transmission et mise en file d'attente selon le Tableau 10-70. 17~31Réservé
	Max. Jitter *(gigue maximale)*		Bits 2:4	0-3	Délai maximal de variation selon le tableau défini au Tableau 10-71. 5~7 Réservé
	Réservé		Bits 0:1	0	Doit être mis à zéro par l'émetteur et ignoré par le récepteur.
3	Control Word #2 *(mot de contrôle n° 2)*	0x02	2		Ensemble de champs de contrôle qui commandent la politique de comportement des flux. Le mot de contrôle est décodé comme indiqué ci-dessous:
	ACK Policy *(politique d'accusé de réception)*		Bits 15:15	0-1	0-Aucun 1-LARQ
	FEC Policy *(politique de correction d'erreur aval)*		Bits 13:14	0-3	0 Aucun 1 Reed-Solomon 2~3 Réservé
	Aggregation Policy		Bits 12:12	0-1	0 Aucun 1 Agrégation de niveau MAC
	Checksum Error Handling Policy *(politique de traitement d'erreur de somme de contrôle)*		Bits 11:11	0-1	0 Ne pas ignorer les paquets avec erreur de somme de contrôle 1 Ecarter les paquets à somme de contrôle erronée Une erreur de somme de contrôle inclut une erreur dans les champs FCS ou CRC-16 de la trame de couche Liaison ou de la rafale de trames G.9954.
	Réservé		Bits 0:10	0	Doit être mis à zéro par l'émetteur et ignoré du récepteur.

Tableau 10-69/G.9954 – Propriétés des flux

N°	Nom du paramètre	FPType	FPLength (octets)	Valeurs	Commentaires
4	Nominal Packet Size *(taille nominale de paquet)*	0x03	2	0-64 kbit/s	Taille nominale de paquet en octets pour les paquets associés au service. Une valeur de 0 indique une valeur non spécifiée ou inconnue.
5	Max Packet Size *(taille maximale de paquet)*	0x04	2	0-64 kbit/s	Taille maximale de paquet en octets pour les paquets associés au service. Une valeur de 0 indique une valeur non spécifiée ou inconnue. NOTE – Utilisé par le programmeur pour s'assurer que les TXOP sont au moins assez grandes pour comporter un seul paquet.
6	Max. data rate *(débit maximal de données)*	0x05	2	4 kbit/s – 256 Mbit/s	Débit de crête de rafale en unités de 4 kbit/s. Tient compte du débit de données net (charge utile).
7	Average data rate *(débit moyen de données)*	0x06	2	4 kbit/s – 256 Mbit/s	Débit binaire moyen exigé par le service en unités de 4 kbit/s.
8	Min. data rate *(débit minimal de données)*	0x07	2	4 kbit/s – 256 Mbit/s	Débit binaire minimal exigé en unités de 4 kbit/s pour que le service fonctionne. Ce chiffre n'est supposé être différent de zéro que pour le trafic en temps réel demandant un délai de transmission minimal (min ≤ *avg* ≤max).
9	BER Word	0x08	1	10^{-10}-10^{-5}	BER de niveau service dans la gamme $10^{-10} \le BER \le 10^{-5}$. Le BER est représenté par deux champs d'entiers: mantisse, m, et exposant, tels que: $BER = (8 + m) \times 2^{e-43}$ Lorsque la politique de traitement des erreurs de CRC est *supprimer les paquets avec erreur de CRC*, la valeur du BER est le PER divisé par le nombre moyen de bits par paquet. Par exemple, supposant le $PER = 10^{-2}$ désiré et que des paquets de 1500 octets sont utilisés, alors $BER = 10^{-2}/1200 \approx 10^{-6}$.
	Mantissa (m)		Bits 5:7	0-7	
	Exponent (e)		Bits 0:4	7-24	
10	PE	0x09	1	0-255	Codage de charge utile utilisé sur le canal logique. La valeur de PE devrait être déduite par la négociation de débit à partir des exigences de BER.
11	Packet Timeout *(temporisation de paquet)*	0x0A	4	2^32 – 1	Quantité de temps en ms pendant laquelle un paquet va rester en file d'attente avant d'être supprimé de la file d'attente du flux. Une valeur de 0 indique que le paquet n'est jamais périmé.

Tableau 10-69/G.9954 – Propriétés des flux

N°	Nom du paramètre	FPType	FPLength (octets)	Valeurs	Commentaires
12	TX Timeslot *(créneau de temps en émission)*	0x0B	4	2^32 – 1	Intervalles de temps de la première TXOP définie pour le flux. Ce champ peut être établi par les couches supérieures à l'établissement du flux afin de synchroniser les TXOP allouées avec une source externe. Ceci est destiné aux services isochrones. Le temps est mesuré en unités de 2^{-13} et se rapporte à l'horloge de référence du maître. Une valeur de zéro indique la valeur "inconnu". NOTE – L'utilisation de ce dispositif suppose la synchronisation de l'horloge de l'appareil demandeur avec l'horloge de référence du maître. Pour plus d'informations sur la synchronisation d'horloge, voir le § 10.18.
13	Flow Inactivity Timeout *(temporisation d'inactivité de flux)*	0x0C	4	2^32 – 1	Quantité de temps en ms pendant laquelle un flux va rester "en vie" en l'absence de tout trafic avant la suppression automatique du flux et la libération des ressources. Une valeur de 0 indique que le flux n'est jamais supprimé automatiquement.

Les Tableaux 10-70 et 10-71 font la liste des valeurs possibles de délai de latence maximal et de gigue maximale et de leur signification.

Tableau 10-70/G.9954 – Valeurs maximales de délai de latence

Latence	Signification
0	Pas de limite
1	5 millisecondes
2	10 millisecondes
3	20 millisecondes
4	30 millisecondes
5	40 millisecondes
6	50 millisecondes
7	60 millisecondes
8	70 millisecondes
9	80 millisecondes
10	90 millisecondes
11	100 millisecondes
12	200 millisecondes
13	300 millisecondes
14	400 millisecondes
15	500 millisecondes

Tableau 10-71/G.9954 – Valeurs maximales de gigue

Gigue	Signification
0	pas de limite
1	5 millisecondes
2	10 millisecondes
3	20 millisecondes

10.17.1.2 Classeur de flux

Les classeurs de flux sont des spécifications de filtres qui définissent les critères selon lesquels la couche de convergence de G.9954 va classer les paquets et les mapper en flux. Le Tableau 10-72 décrit la structure de TLV de classeur de flux utilisée dans la trame de contrôle SETUP/MODIFY_FLOW_REQUEST.

Tableau 10-72/G.9954 – Données de classeur de flux

Champ	Longueur	Commentaires
SETag	1 octet	= FS_CLASSIFIER_TAG (Tableau 10-39)
SELength	1 octet	Longueur totale de l'extension de TLV excluant les octets d'étiquette et de longueur.
Priority	1 octet	Priorité de classeur. Définit l'ordre selon lequel sont appliqués les classeurs au sein d'une couche de convergence. Une valeur supérieure indique une priorité supérieure.
Opcode	1 octet	Action de classement à appliquer: 0 Ajouter un classeur 1 Supprimer un classeur
ClassifierParam		Paramètre de classement
ClassifierTag	1 octet	Identifiant d'étiquette de classeur. Pour une description des valeurs d'étiquettes de classeur, voir le Tableau 10-73. Les valeurs de 0x0E à 0xFF sont réservées.
ClassifierLength	1 octet	Longueur du paramètre de classement
ClassifierParameter	Variable	Paramètre de classement dont la structure est spécifique de ClassifierTag comme décrit au Tableau 10-73.

Tableau 10-73/G.9954 – Paramètres de classement

Paramètre de classement	Etiquette de classeur	Longueur (octets)	Commentaires
ID de flux	0x00	2	ID de flux du flux auquel il a été déterminé par les couches de protocole supérieures qu'appartient un paquet entrant.
Adresse de destination	0x01	N * 6	Liste de (N) adresses de destination Ethernet.
Adresse de source	0x02	N * 6	Liste de (N) adresses de source Ethernet.
EtherType	0x03	N * 2	Liste de (N) valeurs EtherType.
TOS	0x04	3	Champ de Type de service IP: (tos_{bas}, tos_{haut}, $tos_{gabarit}$)

Tableau 10-73/G.9954 – Paramètres de classement

Paramètre de classement	Etiquette de classeur	Longueur (octets)	Commentaires
Protocole	0x05	N * 1	Liste des protocoles: $protocole_1..protocole_n$
Adresse de source IP	0x06	N * 8	Liste des tuplets IP de source (adresse, gabarit).
Adresse de destination IP	0x07	N * 8	Liste des (N) tuplets IP de destination (adresse, gabarit).
Gamme de ports de source	0x08	N * 4	Liste des (N) gammes de nombres de port IP de source ($port_{bas}$, $port_{haut}$)…
Gamme de ports de destination	0x09	N * 4	Liste des (N) gammes de nombres de port IP de destination ($port_{bas}$, $port_{haut}$)…
DSAP EtherType/802.2	0x0A	N * 1	Adresse DSAP de LLC
SSAP EtherType/802.2	0x0B	N * 1	Adresse SSAP de LLC
Priorité d'utilisateur	0x0C	2	Gamme de valeurs de priorité d'utilisateur 802.1D, pri_{bas}, pri_{haut}
ID de VLAN	0x0D	2	Identifiant de VLAN 802.1Q. Seuls les 12 bits les plus à gauche sont significatifs.

10.17.2 Transactions de signalisation de flux

Plusieurs transactions de signalisation de flux peuvent être lancées simultanément par une station en utilisant une *Clé de demande* à allocation unique. Tous les messages de protocole qui appartiennent à la même transaction doivent utiliser la même *Clé de demande*. La *Clé de demande* doit être allouée par l'initiateur de la transaction de signalisation de flux.

10.17.3 Séquences de protocole de signalisation de flux

10.17.3.1 Séquence de protocole d'établissement de flux

L'établissement de flux doit être effectué entre des points d'extrémité de source et de destination d'un *flux en utilisant la séquence de protocole d'établissement*. La station de source ou la station de destination peut initialiser l'établissement de flux.

L'objet de la signalisation d'établissement de flux est l'établissement d'un ensemble de paramètres de flux bien défini et négocié entre les points d'extrémité du flux.

Si une réservation de bande passante (contrats de qualité de service) est nécessaire pour un flux, et que le réseau fonctionne en mode SMAC, le maître doit être informé des paramètres d'établissement du flux par la source du flux, après la négociation des paramètres du flux. La notification de l'établissement du flux au maître et la réservation de bande passante doivent être effectuées en utilisant la même prise de contact à trois que pour l'établissement de flux entre deux nœuds de point d'extrémité.

Le maître peut aussi être le point d'extrémité de source ou de destination d'un flux. Ceci est un cas particulier de la séquence de protocole d'établissement de flux standard.

NOTE – Lorsque le maître est au point d'extrémité d'un flux, aucune autre notification du maître n'est nécessaire pour réserver de la bande passante en plus de la signalisation d'établissement de flux d'origine.

Les différentes séquences de protocole d'établissement de flux sont définies dans les paragraphes suivants.

10.17.3.1.1 Procédure d'établissement de flux lancée par la source

Pour établir un flux entre deux appareils G.9954 sur le réseau lorsque l'appareil initialisant l'établissement de flux doit être l'appareil qui est à la source du flux, l'initiateur doit envoyer un message SETUP_FLOW_REQUEST (*demande d'établissement de flux*) à l'appareil qui est à la destination du flux. Le message SETUP_FLOW_REQUEST doit contenir une *Clé de demande* allouée par l'initiateur et qui identifie la transaction d'établissement de flux, l'identité du flux et les paramètres de qualité de service du flux. L'identité du flux doit être allouée localement par l'initiateur en allouant un Identifiant de flux qui sera unique dans le contexte des adresses de *source* et de *destination* du flux.

Après l'envoi de SETUP_FLOW_REQUEST, la station doit établir un temporisateur et attendre jusqu'à FLOW_RESPONSE_TIMEOUT (T1) ms un message SETUP_FLOW_RESPONSE. Si aucune réponse n'est reçue dans la période de temporisation, la demande doit être reformulée en utilisant la même *Clé de demande*. Ce processus doit être effectué jusqu'à MAX_FLOW_SIGNALLING_RETRIES (*maximum d'essais de signalisation de flux*).

A réception d'une SETUP_FLOW_REQUEST, la station de destination doit établir le flux localement. Elle peut proposer des modifications aux paramètres du flux afin de mieux adapter le flux aux contraintes de ressources du point d'extrémité. Toute modification de paramètres doit être retournée dans la SETUP_FLOW_RESPONSE. Après l'envoi d'une SETUP_FLOW_RESPONSE, le point d'extrémité de destination doit lancer un temporisateur et attendre jusqu'à FLOW_CONFIRM_TIMEOUT (T2) ms le message SETUP_FLOW_CONFIRM (*confirmation d'établissement de flux*). Si une SETUP_FLOW_CONFIRM n'est pas reçue dans la période de temporisation, un message SETUP_FLOW_RESPONSE doit être retransmis. Cette procédure continue MAX_FLOW_SIGNALLING_RETRY fois avant que la destination ne doive abandonner l'opération d'établissement de flux et fermer la transaction.

Si une SETUP_FLOW_RESPONSE est reçue, la station doit désactiver le temporisateur (T1) et vérifier l'état et les paramètres de flux retournés. Si les paramètres de flux ont été modifiés par la station de destination dans sa réponse, la source doit alors régler les paramètres de flux en conséquence. Si l'état retourné dans la SETUP_FLOW_RESPONSE est OK et que les paramètres modifiés sont acceptables pour la source, la station de source doit retourner un message FLOW_SETUP_CONFIRM avec l'état OK et la transaction d'établissement de flux est fermée. Si les paramètres de flux proposés sont rejetés par la station de source, elle doit retourner un code de confirmation de REJET joint aux paramètres rejetés.

A réception d'un message SETUP_FLOW_CONFIRM, la station doit désactiver le temporisateur (T2). Si le *Code de confirmation* dans le SETUP_FLOW_CONFIRM est OK, la station de destination peut alors terminer la transaction d'établissement de flux. Si le *Code de confirmation* est REJECT, la station de destination peut soit terminer la transaction d'établissement de flux, soit modifier son offre en utilisant le même cycle de FLOW_SETUP_RESPONSE/CONFIRM. Si le flux ne peut pas réussir à être établi, un état de SETUP_FLOW_RESPONSE d'ERROR devrait être retourné et la transaction d'établissement de flux doit être fermée à la source et à la destination.

Si l'établissement d'un flux n'est pas réussi entre les stations de source et de destination, les données du flux doivent être envoyées en utilisant les règles de transmission AMAC et en utilisant les paramètres de canal définis pour le canal logique entre Source et Adresse de destination. Si le réseau est sous le contrôle d'un maître, la transmission doit être effectuée dans une TXOP en concurrence.

Si l'établissement d'un flux est réussi et que le réseau est sous le contrôle d'un maître, de la bande passante peut être réservée pour le flux en signalant l'établissement du flux au maître. Pour plus d'informations sur l'allocation de bande passante réservée pour un flux, voir le § 10.17.3.1.4.

La Figure 10-14 illustre le *Protocole de signalisation d'établissement de flux* utilisé pour établir un flux entre des appareils A (la source) et B (la destination) lorsque l'initiateur de la transaction d'*établissement de flux* dans l'exemple est l'appareil A. Cet exemple illustre les périodes de temporisation (T1, T2) utilisées dans le protocole de signalisation de flux ainsi que la Négociation de débit (RRCF) effectuée sur le canal du flux.

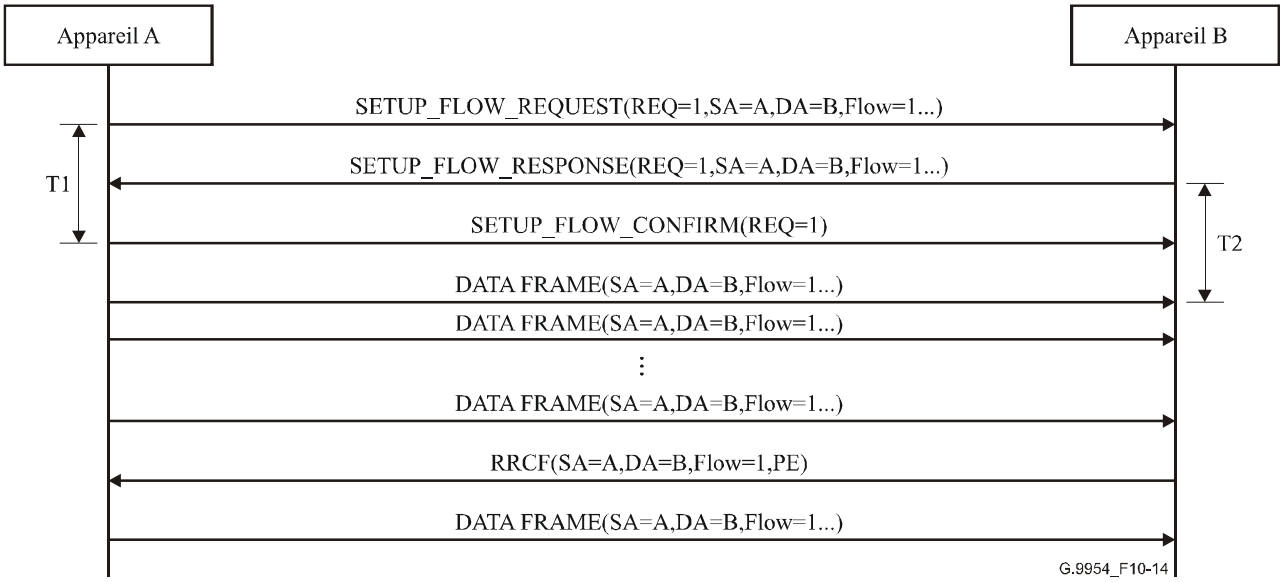

Figure 10-14/G.9954 – Procédure d'établissement de flux à l'initiative de la source

10.17.3.1.2 Procédure d'établissement de flux à l'initiative de la destination

L'établissement de flux, lorsqu'il est fait à l'initiative de la destination du flux, est similaire à la procédure décrite au § 10.17.3.1.1. La différence entre les séquences est la suivante:

le Flow_ID spécifié dans la FLOW_SETUP_REQUEST est NULL dans la mesure où le Flow_ID doit être défini par la station de source du flux. Le Flow_ID alloué est retourné dans la FLOW_SETUP_RESPONSE.

La négociation des paramètres du flux se passe comme dans le cas de l'établissement de flux à l'initiative de la source.

La Figure 10-15 illustre le *Protocole de signalisation d'établissement de flux* utilisé pour établir un flux entre les appareils A (la source) et B (la destination) lorsque l'initiative de la transaction d'*établissement de flux* revient à l'appareil B comme dans l'exemple.

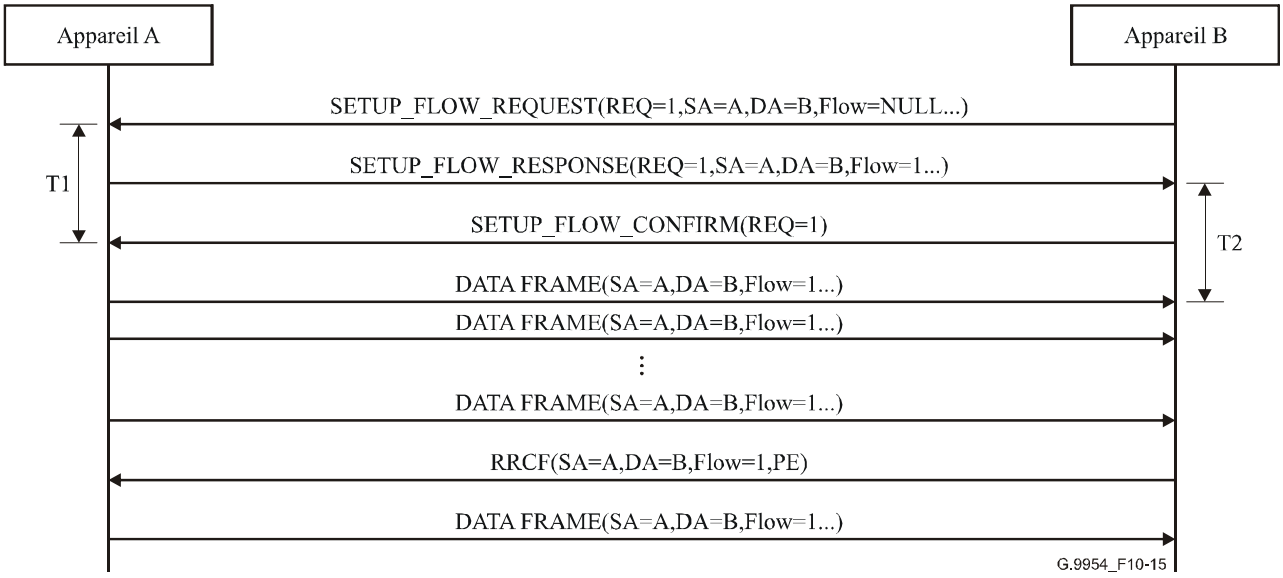

Figure 10-15/G.9954 – Protocole d'établissement de flux à l'initiative de la destination

10.17.3.1.3 Procédure d'établissement de flux de Diffusion/Multidiffusion

Lors de l'établissement d'un flux de diffusion/multidiffusion, le protocole de signalisation d'établissement de flux n'utilise pas la prise de contact à trois standards pour établir le flux, dans la mesure où l'initiateur de l'établissement du flux ne peut pas attendre une réponse de tous les membres du groupe de diffusion/multidiffusion. L'établissement du flux doit plutôt être signalé en diffusant la SETUP_FLOW_REQUEST sans attendre de réponse et sans avoir de réponse avec confirmation. Les paramètres de flux (sauf le codage de charge utile (PE)) ne peuvent pas être négociés pour les flux de diffusion/multidiffusion. Le codage de charge utile doit être négocié en utilisant le mécanisme de négociation de débit standard pour les canaux de diffusion/multidiffusion comme décrit au § 10.4.

Pour permettre aux membres du groupe de diffusion/multidiffusion d'acquérir les paramètres de flux à tout moment, au cas où la SETUP_FLOW_REQUEST n'a pas été reçue, ou si le membre du groupe de diffusion/multidiffusion est activé après l'établissement du flux, une station peut à tout moment faire une demande *Obtenir les paramètre de flux* en utilisant la demande GET_FLOW_PARAMS_REQUEST. La demande est envoyée à la station qui est à la source du flux. La station à la source du flux, à réception d'une GET_FLOW_PARAMS_REQUEST doit retourner les paramètres pour le flux désigné en utilisant le message GET_FLOW_PARAMS_RESPONSE.

La séquence du protocole d'établissement de flux pour les flux en diffusion/multidiffusion est illustrée à la Figure 10-16.

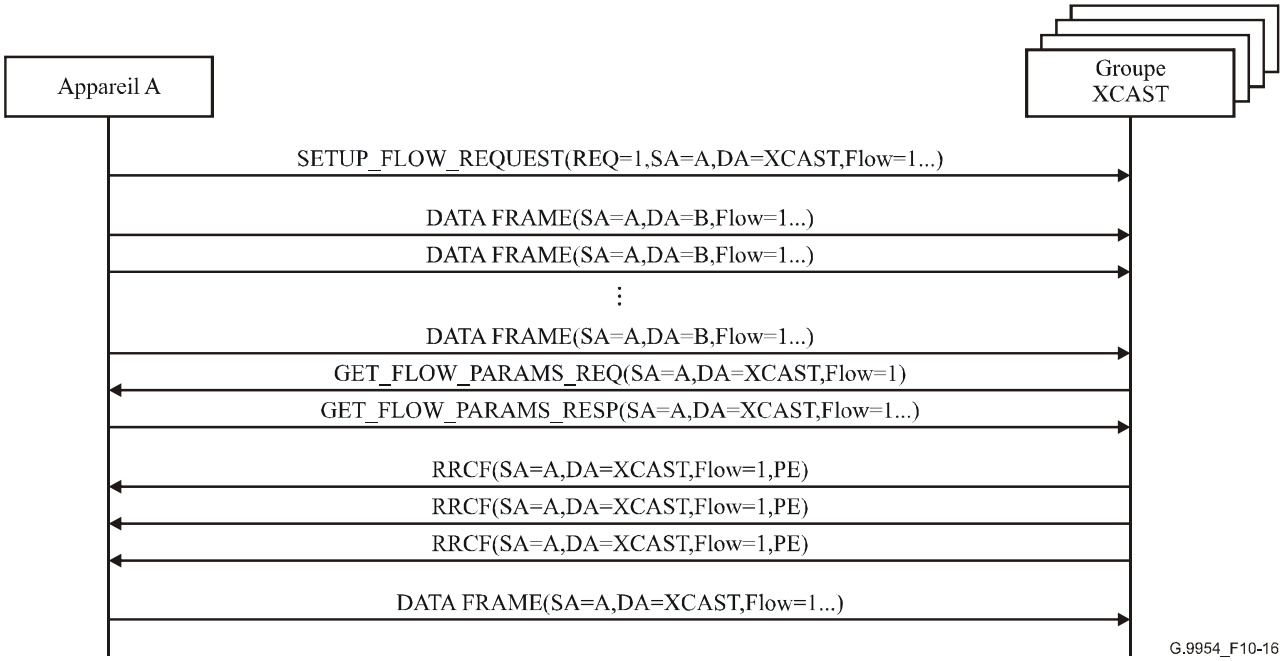

Figure 10-16/G.9954 – Etablissement de flux de multidiffusion

10.17.3.1.4 Procédure de notification d'établissement de flux par le maître

Comme décrit aux paragraphes 10.17.3.1.1, 10.17.3.1.2 et 10.17.3.1.3, le protocole d'établissement de flux doit être effectué entre les appareils de source et de destination du flux, sans considérer si le réseau est sous le contrôle d'un maître ou non. Cela permet la définition de flux avec un délai de latence, un débit et des caractéristiques de BER définis. Ces informations peuvent être utilisées par les appareils émetteur et récepteur pour négocier des paramètres de canal appropriés pour le flux (par exemple, exigences de mémoire tampon, codage de charge utile, etc.).

Si le réseau est sous le contrôle d'un maître, des TXOP explicites peuvent être réservées pour un flux établi en signalant au maître l'établissement du flux en utilisant le protocole normal de signalisation d'établissement de flux.

Pour signaler l'établissement de flux avec le maître, le protocole doit être lancé par la source du flux. Le même protocole de prise de contact à trois doit être utilisé comme pour les opérations normales d'établissement de flux entre les appareils de source et de destination. Si le flux est admis par le maître, des TXOP réservées doivent être allouées par le maître et affectées dans le MAP publié généré par le maître. Les TXOP doivent être allouées par le programmeur du maître d'une façon et dans une position telles qu'une bande passante suffisante soit fournie et que les exigences définies dans les paramètres du flux de délai de latence et de gigue soient satisfaites pour le flux.

Les appareils à la source d'un flux doivent être *enregistrés* auprès du maître afin d'être à même de demander de la bande passante réservée.

La Figure 10-17 illustre la *Séquence de protocole d'établissement de flux* qui inclut la Notification d'établissement par le maître. La *Séquence de protocole d'établissement de flux*, qui apparaît entre l'appareil A et l'appareil B (c'est-à-dire dans la flèche à double sens), représente la séquence de protocole telle que décrite aux Figures 10-14, 10-15 et 10-16. La *Séquence de protocole d'établissement de flux* entre l'appareil A et le maître représente la demande d'allocation de bande passante réservée.

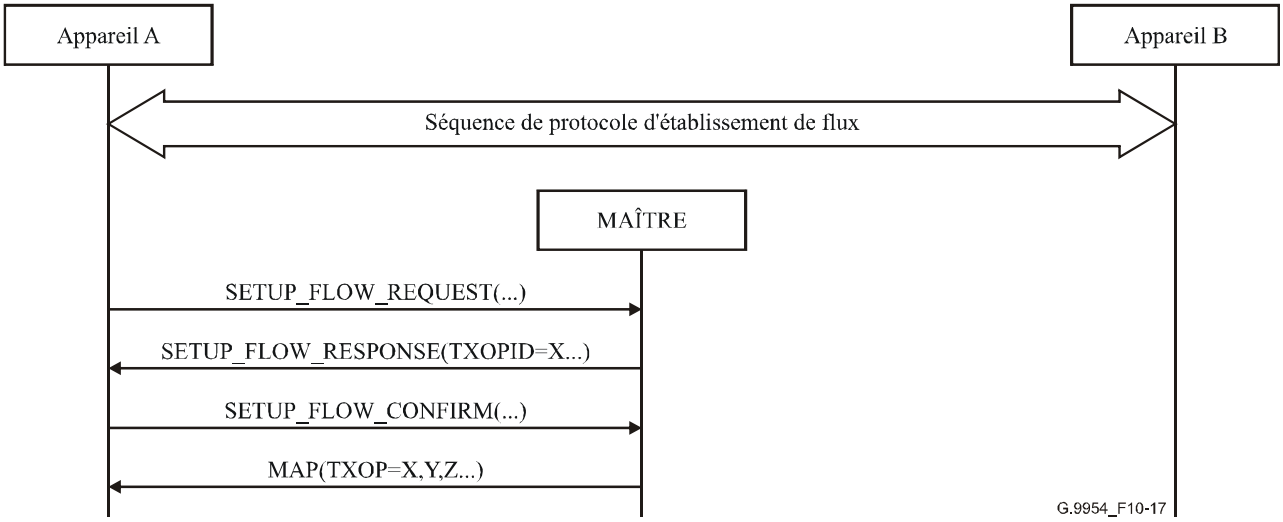

Figure 10-17/G.9954 – Notification d'établissement de flux par le maître

10.17.3.1.5 Procédure d'établissement de flux à l'initiative du maître et terminée par lui

Si l'appareil qui a l'initiative de la séquence d'établissement du flux est le maître, la séquence d'établissement du flux se passe normalement, comme dans le cas d'une station de point d'extrémité normale (voir les paragraphes 10.17.3.1.1 et 10.17.3.1.2). Dans ce cas, le contrôle d'admission peut être effectué par le maître avant le début de la séquence de protocole. De plus, le maître n'a pas besoin d'être notifié de l'établissement du flux pour la réservation de bande passante. Ceci doit être effectué automatiquement par le maître pour les flux qui demandent de la bande passante réservée.

De même, pour les flux dont les points d'extrémité se terminent au maître, la *Séquence de protocole d'établissement de flux* procède comme dans le cas normal et la réservation de bande passante doit être effectuée automatiquement par le maître en tant que de besoin.

NOTE – La bande passante pour un flux n'a pas besoin d'être allouée immédiatement par le maître et peut être différée jusqu'à ce que les paramètres de canal du flux (par exemple, codage de charge utile) aient été déterminés.

10.17.3.2 Séquence de protocole de modification de flux

La Séquence de protocole de modification de flux suit fidèlement le *Protocole d'établissement de flux*. Elle implique de la même façon une séquence d'échange de protocole DEMANDE-REPONSE-CONFIRMATION à trois entre les appareils de source et de destination du flux et facultativement entre l'appareil de source du flux et l'appareil maître.

La modification du flux peut être initialisée par les appareils de source ou de destination du flux. Comme pour le protocole d'établissement du flux, le maître doit être informé des modifications apportées aux flux pour lesquels la bande passante a été explicitement réservée, si les paramètres modifiés affectent la réservation de bande passante.

Les modifications aux paramètres suivants affectent la réservation de bande passante du maître:

– débit de données (Minimal, Moyen, Maximal);
– délai de latence/Gigue maximal;
– codage de charge utile;
– taille nominale de paquet.

10.17.3.2.1 Procédure de modification de flux

L'appareil qui demande la modification de flux doit ouvrir une transaction de signalisation de flux et doit envoyer un message MODIFY_FLOW_REQUEST (*demande de modification de flux*)

contenant une spécification des paramètres du flux à modifier et/ou facultativement des filtres de classement du trafic à installer dans l'appareil à la source du flux.

Après l'envoi de MODIFY_FLOW_REQUEST, l'initiateur doit établir un temporisateur et attendre jusqu'à FLOW_RESPONSE_TIMEOUT (T1) ms une réponse MODIFY_FLOW_RESPONSE. Si le temporisateur arrive à expiration avant la réception de la réponse, la demande MODIFY_FLOW_REQUEST doit être renvoyée jusqu'à MAX_FLOW_SIGNALLING_RETRY fois avant que la demande de modification de flux doive être abandonnée.

A réception d'un message MODIFY_FLOW_REQUEST, l'appareil récepteur devrait chercher le flux spécifié dans sa liste des flux établis et, s'il le trouve, établir une nouvelle transaction de signalisation de flux. Les paramètres modifiés devraient être vérifiés et, s'ils sont acceptables, les paramètres de flux devraient être mis à jour en conséquence. Une MODIFY_FLOW_RESPONSE avec un *Etat* OK devrait ensuite être retournée dans les (T1)/2 ms du moment de la réception de la MODIFY_FLOW_REQUEST. Si les paramètres de flux modifiés sont inacceptables, une réponse MODIFY_FLOW_RESPONSE avec un *Etat* de REJECT devrait être retournée. Les paramètres rejetés devraient être retournés dans le message de réponse.

Le reste de la séquence de protocole, y compris la renégociation des paramètres de flux (si nécessaire), et la fin de la transaction de signalisation de flux se passent comme dans le cas de l'*établissement de flux*. Ceci est illustré à la Figure 10-18.

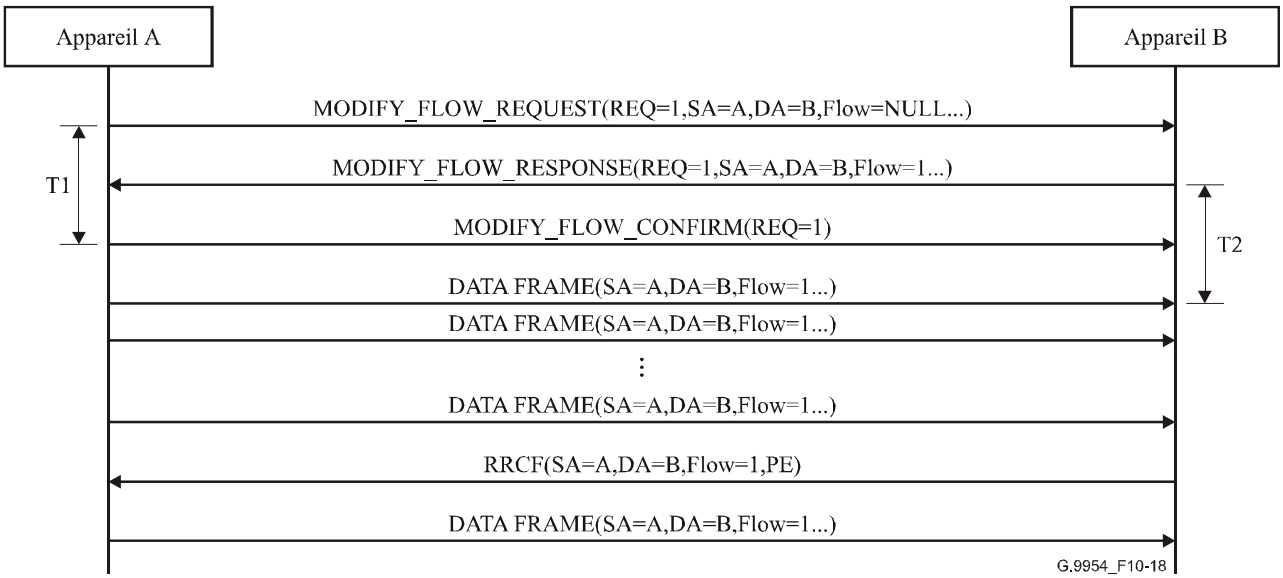

Figure 10-18/G.9954 – Protocole de signalisation de modification de flux

10.17.3.2.2 Modification de flux et notification au maître

Si un flux qui a de la bande passante réservée par le maître est modifiée, le maître doit recevoir notification de toutes les modifications des paramètres de flux qui affectent l'allocation de bande passante. La notification doit être effectuée en utilisant le *Protocole de signalisation de modification de flux*.

Les paramètres de flux qui peuvent être modifiés et affecter la réservation de bande passante sont ceux définis au § 10.17.3.2.

Le *Protocole de signalisation de modification de flux* entre l'appareil à la source du flux et le maître est le même que celui décrit au § 10.17.3.2.1.

10.17.3.3 Séquence de protocole de suppression de flux

Les flux sont supprimés en utilisant la *Séquence de protocole de suppression de flux.* Un flux peut être supprimé en réponse à une demande explicite provenant d'une couche de protocole supérieure ou après une période d'inactivité configurable par un paramètre de flux (voir le paramètre de flux *Temporisation d'inactivité de flux* au § 10.17.1.1).

La séquence de suppression de flux est lancée normalement par l'appareil qui est à la source du flux, après détection d'une période d'inactivité du flux supérieure ou égale à la *Temporisation d'inactivité de flux* du flux. La suppression de flux peut aussi être lancée par l'appareil de destination d'un flux s'il détecte une période d'inactivité supérieure à son paramètre *Temporisation d'inactivité de flux*.

La *Séquence de protocole de suppression de flux* implique une séquence de message REQUEST-RESPONSE. Celui qui en a l'initiative doit identifier le flux par son *Adresse de source, Adresse de destination* et l'*ID de flux.* Lorsqu'un flux est supprimé, les ressources qu'il occupe doivent être libérées.

Si un flux qui a de la bande passante réservée par le maître est supprimé, le maître doit en être notifié par l'appareil qui a l'initiative de la *Séquence de suppression de flux.*

Si un appareil enregistré n'est plus détecté, comme indiqué par l'absence de trames de contrôle d'annonces de capacité et d'état (CSA), le maître doit désenregistrer l'appareil et supprimer tous les flux prenant leur source à cet appareil. De même, les appareils qui sont à la source d'un flux doivent détecter l'absence (en utilisant la fin de temporisation de CSA) d'un appareil à la destination du flux et doivent supprimer un tel flux en conséquence.

La *Temporisation d'inactivité de flux* à la source d'un flux doit être supérieure à la *Temporisation d'inactivité de flux* à la destination du flux afin d'éliminer les conditions de course à la suppression de flux.

NOTE – Celui qui a l'initiative de la *Séquence de protocole d'établissement de flux* devrait garantir l'exigence ci-dessus en spécifiant en conséquence la durée de temporisation d'inactivité de flux désirée. Cela signifie que pour un établissement de flux lancé par la source du flux, la temporisation d'inactivité de flux spécifiée dans la demande d'établissement devrait être forcément plus grande que le paramètre à la source du flux. De même, pour un établissement de flux lancé par la destination du flux, la temporisation d'inactivité de flux spécifiée devrait être inférieure à la valeur utilisée à la destination du flux.

10.17.3.3.1 Procédure de suppression de flux à l'initiative de la station

La signalisation du *Protocole de suppression de flux* doit être effectuée entre des appareils qui se trouvent aux points d'extrémité d'un flux ou entre l'appareil de source d'un flux et le maître. Dans les deux cas, un appareil prend l'initiative de la séquence de protocole de suppression de flux en envoyant un message TEARDOWN_FLOW REQUEST (*demande de suppression de flux*) contenant l'identité du flux à supprimer et une *Clé de demande* unique qui identifie la transaction de signalisation de flux. L'appareil qui a l'initiative doit ensuite établir un temporisateur et attendre jusqu'à FLOW_RESPONSE_TIMEOUT (T1) ms un message de réponse TEARDOWN_FLOW_RESPONSE avant de renvoyer la demande de suppression. Cette procédure doit être effectuée jusqu'à MAX_FLOW_SIGNALLING_RETRY fois avant que la transaction de suppression de flux ne soit terminée et que le flux ne soit supprimé localement.

Un appareil recevant une demande TEARDOWN_FLOW_REQUEST doit rechercher le flux identifié dans sa base de données des flux actifs et s'il le trouve, l'appareil doit supprimer le flux localement et libérer les ressources liées au flux. Dans tous les cas, une réponse TEARDOWN_FLOW_RESPONSE devrait être retournée dans les (T1)/2 ms.

La séquence *Protocole de suppression de flux* est illustrée à la Figure 10-19. Le scénario décrit montre une séquence de suppression de flux entre des appareils aux points d'extrémité d'un flux et entre l'appareil à la source du flux et le maître.

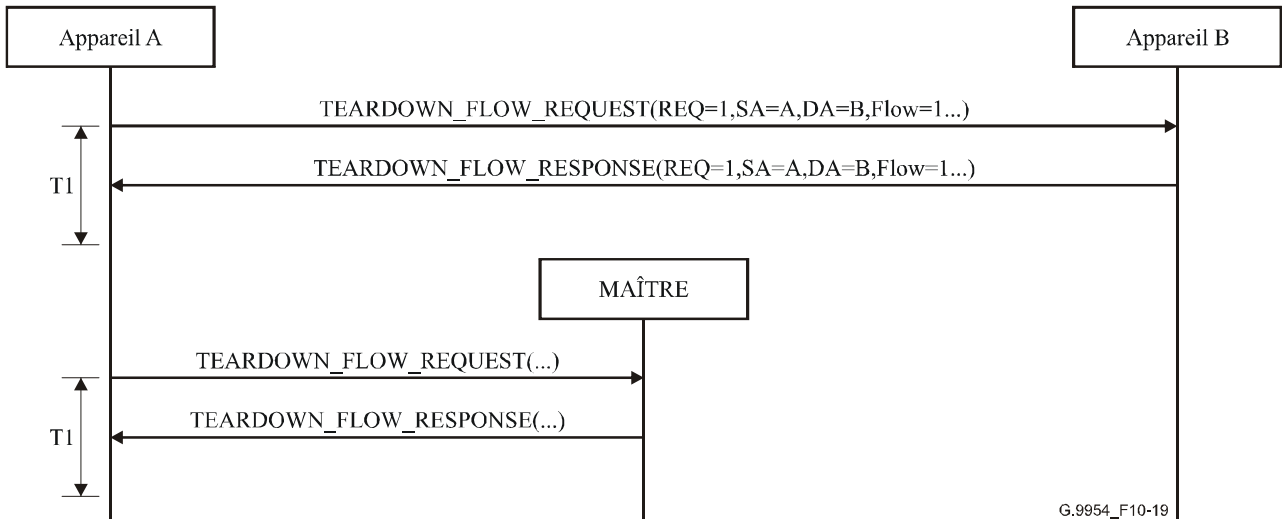

Figure 10-19/G.9954 – Protocole de suppression de flux

10.17.3.3.2 Signalisation de suppression de flux avec le maître

Si un flux a de la bande passante qui lui est réservée par le maître et que ce flux est supprimé, le maître doit en être notifié par l'appareil qui se trouve à la source du flux. Le maître doit être notifié en utilisant la séquence de *Protocole de suppression de flux*, comme pour les appareils qui se trouvent aux points d'extrémité d'un flux.

10.17.3.3.3 Suppression de flux en diffusion et multidiffusion

Pour supprimer un flux en diffusion ou multidiffusion, la demande TEARDOWN_FLOW_REQUEST doit être envoyée par l'appareil qui est à la source du flux. Le message TEARDOWN_FLOW_REQUEST doit être envoyé en utilisant l'adresse de diffusion/multidiffusion. L'appareil qui a l'initiative ne doit pas attendre de réponse TEARDOWN_FLOW_RESPONSE et peut terminer la transaction après l'envoi de la demande de suppression.

Si un membre de groupe de diffusion/multidiffusion ne reçoit pas la demande TEARDOWN_FLOW_REQUEST, le flux doit être mesuré dans le temps par chaque appareil à l'aide du mécanisme *Temporisation d'inactivité de flux* standard.

10.18 Message Indication de rapport d'horodatage (facultatif)

La synchronisation à l'horloge de référence d'un maître peut être nécessaire, pour certains appareils de point d'extrémité, pour synchroniser les débits d'échantillonnage ou pour synchroniser l'allocation de TXOP du support avec une source externe.

Pour prendre en charge la synchronisation avec l'horloge d'un maître, un appareil de référence d'horloge de maître distribue son horloge à tous les appareils du réseau.

Tout appareil du réseau peut être une référence d'horloge de maître pour un groupe d'appareils à horloge esclave. Plus d'un appareil de référence d'horloge de maître peuvent résider ensemble sur le réseau simultanément. Normalement, un appareil à horloge esclave devrait se synchroniser avec une seule référence d'horloge de maître. Il n'y a pas d'obligation que l'appareil jouant le rôle de maître pour le mode SMAC soit la référence d'horloge de maître.

Le mécanisme de rapport d'horodatage suppose la capacité d'une référence d'horloge de maître à les caler sur la transmission d'horodatage d'un message bien connu (le message de rapport d'horodatage lui-même) et à envoyer la valeur de l'horodatage de calage dans le message Indication de rapport d'horodatage suivant. De plus, il suppose la capacité d'un appareil de point d'extrémité à se caler sur

l'horodatage reçu du même message. La différence horaire entre le temps de calage reçu au point d'extrémité et le temps de calage transmis à la référence d'horloge du maître sert à régler l'horloge du point d'extrémité pour compenser l'erreur de fréquence d'horloge calculée. Ceci est illustré à la Figure 10-20.

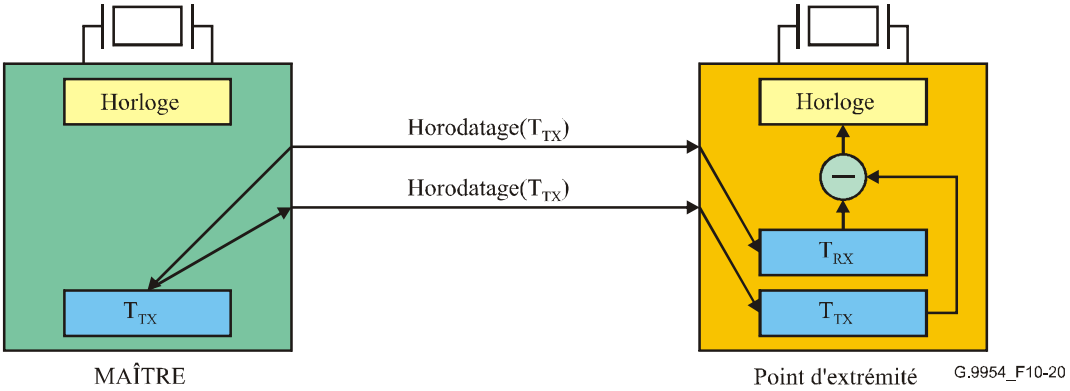

Figure 10-20/G.9954 – Indication de rapport d'horodatage

La référence d'horloge de maître peut transmettre une Indication de rapport d'horodatage à tout moment. Elle devrait transmettre une paire de ces indications dans des trames successives. Pour chaque message d'Indication de rapport d'horodatage transmis, la référence d'horloge de maître doit incrémenter le numéro de séquence de l'horodatage de un. Le numéro de séquence d'horodatage peut commencer à toute valeur décidée arbitrairement.

Pour mesurer les heures de début de transmission et de début de réception respectivement par la référence d'horloge de maître et les points d'extrémité, la mesure doit être définie par rapport à un point commun de la trame. Ce point suit immédiatement le champ Adresse de source de la couche MAC. Une implémentation particulière peut faire sa mesure réelle par rapport à d'autres points de la trame, mais en suivant la procédure ci-dessous, elle doit corriger la valeur mesurée de telle sorte que l'heure corresponde au point spécifié.

Tous les points d'extrémité qui requièrent une synchronisation d'échantillons de données sont encouragés à recevoir l'indication de rapport d'horodatage et à mesurer l'heure de début de réception pour les trames reçues qui contiennent ce message. A réception d'une indication de rapport d'horodatage, le point d'extrémité doit effectuer les actions suivantes:

- enregistrer l'heure de début de réception de la trame en cours avec le numéro de séquence d'horodatage et l'horodatage provenant de l'indication de rapport d'horodatage reçue;
- comparer le paramètre Numéro de séquence d'horodatage contenu dans la trame en cours avec celui de l'indication de rapport d'horodatage reçue en dernier. Si les horodatages ont une différence modulaire de un, continuer. Autrement, arrêter le traitement du message à ce point;
- calculer l'erreur de fréquence relative de son horloge interne par l'opération suivante:

$$\text{Erreur de fréquence} = [(R_{(seqnum-1)} - R_{(seqnum-2)})/(C_{seqnum} - C_{(seqnum-1)})] - 1$$

où:

$R_{(seqnum-1)}$ est l'heure de début de réception de la trame contenant l'indication de rapport d'horodatage avec le numéro de séquence précédent, telle que mesurée par l'horloge locale du point d'extrémité.

$R_{(seqnum-2)}$ est l'heure de début de réception de la trame qui contient l'indication de rapport d'horodatage avec le numéro de séquence moins deux (modulo) que celui de la trame en cours, telle que mesurée par l'horloge locale du point d'extrémité.

C_{seqnum} est la valeur d'horodatage indiquée dans l'indication de rapport d'horodatage de la trame en cours (qui correspond à l'heure de début de transmission de la trame qui contient l'indication de rapport d'horodatage avec le numéro de séquence précédent, telle que mesurée par le maître).

$C_{(seqnum-1)}$ est la valeur d'horodatage indiquée dans l'indication de rapport d'horodatage avec le numéro de séquence précédent (qui correspond à l'heure de début de transmission de la trame qui contient l'indication de rapport d'horodatage avec le numéro de séquence moins deux (modulo) de celui de la trame en cours, telle que mesurée par la référence d'horloge du maître);

- régler l'horloge locale conformément à l'erreur de fréquence déterminée en utilisant un algorithme défini localement.

Le mécanisme qu'utilisent la référence d'horloge du maître ou les points d'extrémité pour mesurer respectivement, l'heure de début de transmission, et l'heure de début de réception, est défini localement.

10.18.1 Format de trame d'indication de rapport d'horodatage

Tableau 10-74/G.9954 – Format de trame d'indication de rapport d'horodatage

Champ	Longueur	Signification
DA	6 octets	Adresse de destination = FF:FF:FF:FF:FF:FF
SA	6 octets	L'adresse de source est celle de la référence d'horloge du maître
Ethertype	2 octets	0x886c (trame de contrôle de liaison PNT)
SSType	1 octet	= SUBTYPE_TIMESTAMP_REPORT (8)
SSLength	1 octet	Nombre d'octets supplémentaires dans l'en-tête de contrôle, commençant avec le champ SSVersion et finissant avec le second (dernier) octet du champ Next Ethertype. La valeur de SSLength est 8 pour SSVersion 0.
SSVersion	1 octet	= 0
Réservé	1 octet	Mis à zéro par l'expéditeur et ignoré par le récepteur
TimestampSequenceNr	2 octets	Numéro de séquence incrémenté de un à chaque transmission d'une indication de rapport d'horodatage.
Timestamp	4 octets	Heure, mesurée par le maître, du début de transmission de la trame précédente contenant l'indication de rapport d'horodatage. L'heure est mesurée en unités de tics d'horloge à la fréquence définie par ClockFrequency.
ClockFrequency	4 octets	Fréquence de l'horloge utilisée pour mesurer la référence d'horodatage exprimée en kHz. Par exemple, 8192 kHz pour une horloge à 8,192 MHz avec une résolution de 2^{-13} ms.
Next Ethertype	2 octets	= 0
Pad	36 octets	
FCS	4 octets	

Annexe A

Interface mécanique (MDI)

A.1 Connecteur MDI

Le connecteur filaire monté sur l'appareil PNT doit être un connecteur RJ11 femelle avec l'allocation des broches du Tableau A.1.

Tableau A.1/G.9954 – Allocation des broches du connecteur MDI RJ11

Contact	Signal
1	Non utilisé
2	Non utilisé
3	TX/RX (+)
4	TX/RX (–)
5	Non utilisé
6	Non utilisé

Une représentation du connecteur est données à la Figure A.1. Les deux broches marquées TX/RX(+) et TX/RX(–) constituent l'interface PNT W1 avec le réseau téléphonique filaire.

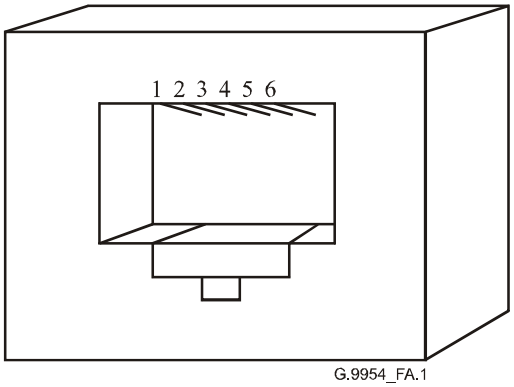

Figure A.1/G.9954 – Connecteur filaire RJ11 femelle

Annexe B

Boucles d'essai de réseau

Dix boucles d'essai sont définies pour l'évaluation des performances des récepteurs PNT. La présente annexe comporte la spécification des types de câblage et les topologies.

B.1 Modèle de câblage

Le câblage marqué "quad" dans les diagrammes suivants est supposé être Belden 1242A, ou un câblage avec des paramètres primaires équivalents. Le câblage marqué "flat" est supposé être le câble Mouser plat à 4 fils 26-AWG (numéro d'inventaire 172-UL4210), ou un câble avec des paramètres primaires équivalents. Tous les autres types de câble sont du Belden UTP-5 du calibre spécifié.

Pour les simulations, le modèle "BT n° 1" [1] est utilisé pour générer les paramètres primaires *R*, *L*, *G*, et *C* par rapport à la fréquence. Ce modèle est donné comme:

$$R(f) = \sqrt[4]{r_o^4 + a \cdot f^2}$$

$$L(f) = \frac{l_0 + l_\infty \cdot \left(\frac{f}{f_m}\right)^b}{1 + \left(\frac{f}{f_m}\right)^b}$$

$$G(f) = g_0 \cdot f^{g_e}$$

$$C(f) = c_\infty + \frac{c_0}{f^{c_e}}$$

Le paramètre établi pour chaque type de câble utilisé dans la section suivante est donné au Tableau B.1. L'hypothèse est que *R*(*f*) est en ohms/mi., *L*(*f*) est en mH/mi., *G*(*f*) est en µMhos/mi., et *C*(*f*) est en µF/mi.

Tableau B.1/G.9954 – Paramètres des modèles de câblage

Paramètre de modèle	Belden 1242A quad	Mouser flat 4-fils	Belden UTP-5 (24AWG)
r_0	406,65	643,4	277,2
A	0,2643	0,757	0,278
l_0	1,229	1,27	0,9863
B	0,794	0,654	0,83
l_∞	0,927	0,953	0,718
f_m	386e3	697e3	500e3
g_0	0,0432	0,519	0,000282
g_e	0,8805	0,7523	0,869
c_0	0,121	0,04	0
c_∞	0,071	0,06875	0,083
c_e	0,245	0,122	0

B.2 Boucles d'essai

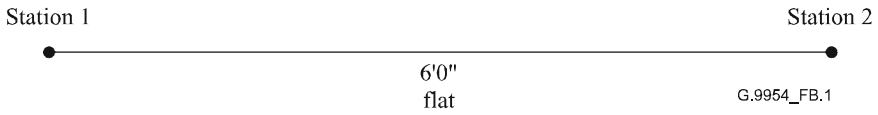

Figure B.1/G.9954 – Boucle d'essai numéro 1

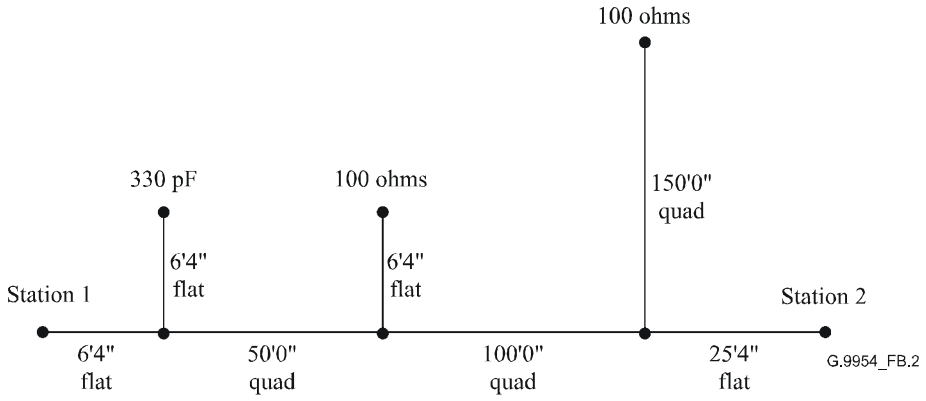

Figure B.2/G.9954 – Boucle d'essai numéro 2

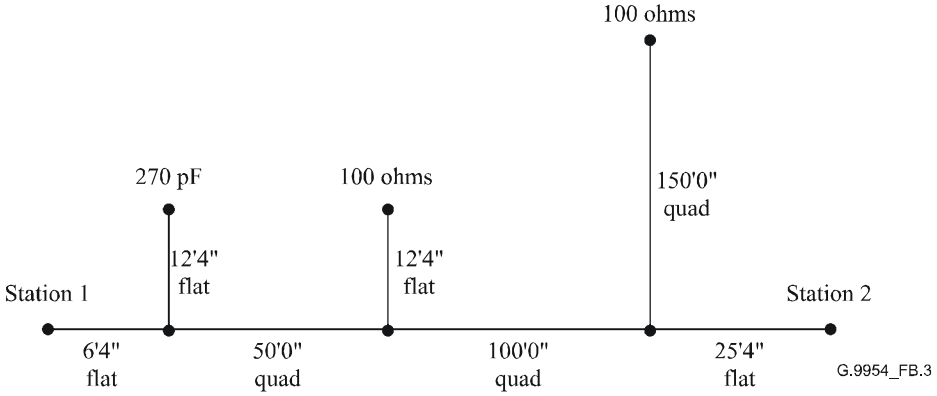

Figure B.3/G.9954 – Boucle d'essai numéro 3

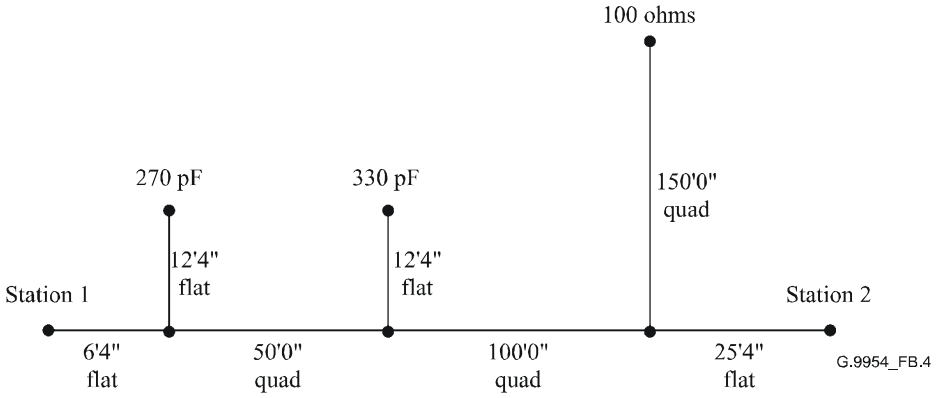

Figure B.4/G.9954 – Boucle d'essai numéro 4

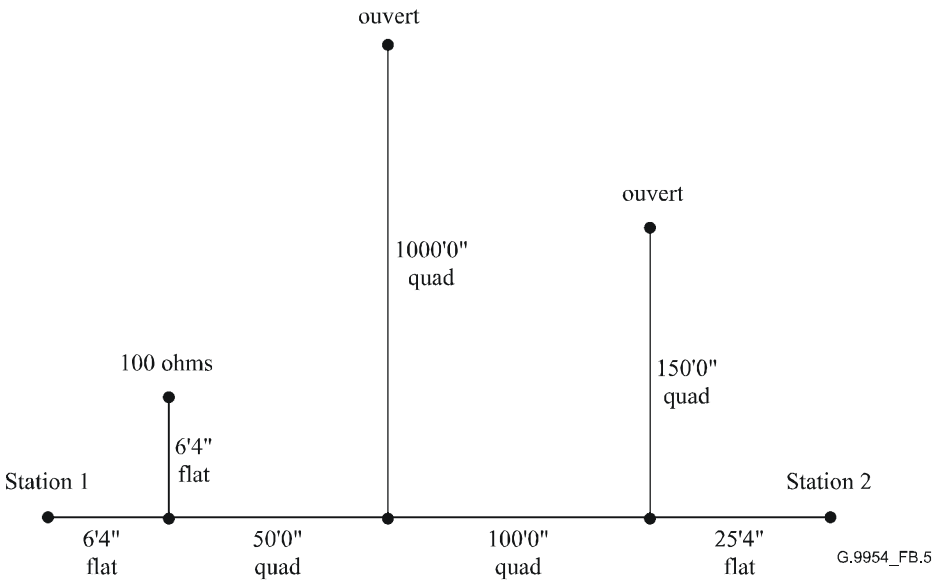

Figure B.5/G.9954 – Boucle d'essai numéro 5

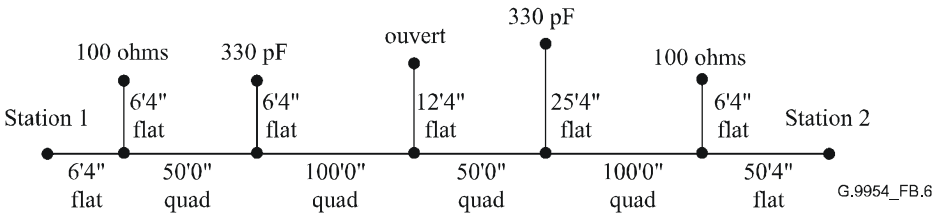

Figure B.6/G.9954 – Boucle d'essai numéro 6

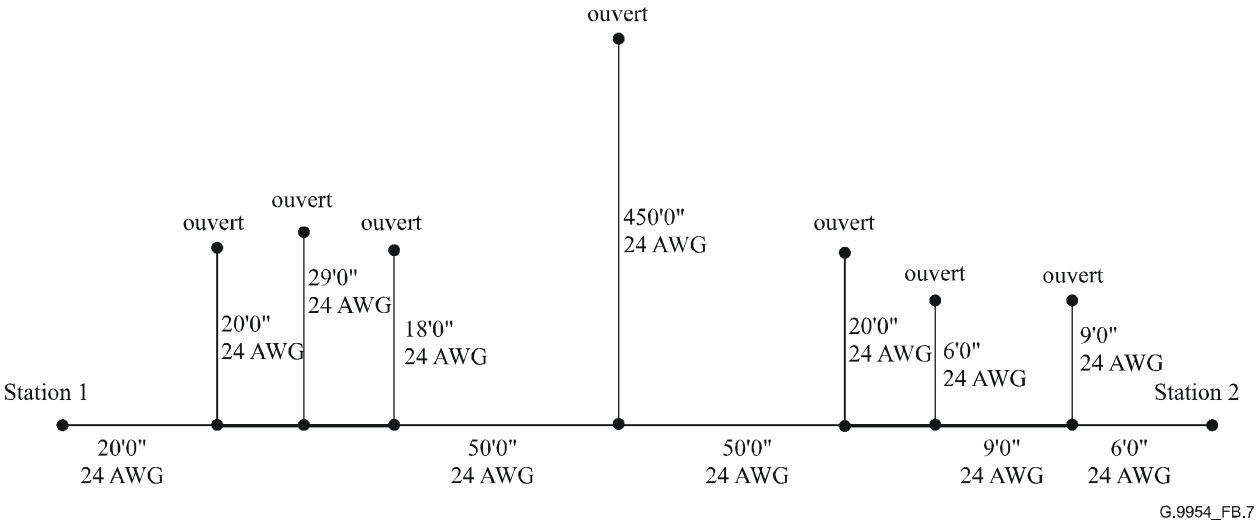

Figure B.7/G.9954 – Boucle d'essai numéro 7

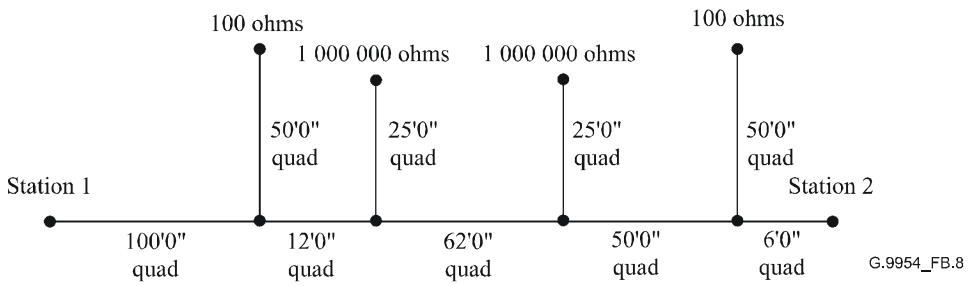

Figure B.8/G.9954 – Boucle d'essai numéro 8

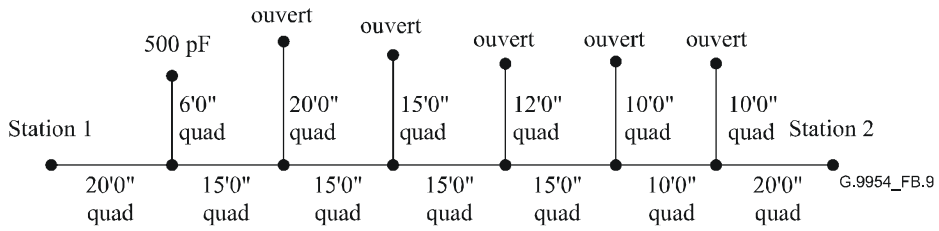

Figure B.9/G.9954 – Boucle d'essai numéro 9

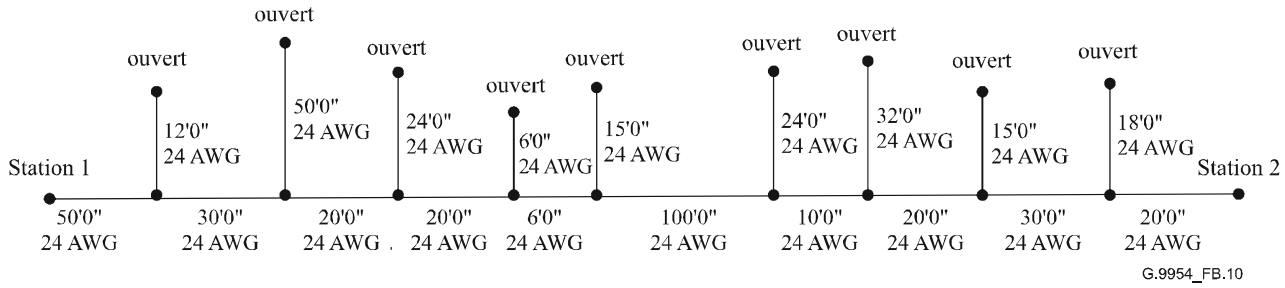

Figure B.10/G.9954 – Boucle d'essai numéro 10

Appendice I

Couches de convergence

La couche de convergence est une sous-couche spécifique du protocole qui transpose divers protocoles de couche Transport en primitives originelles de la sous-couche LLC. La sous-couche LLC procure une interface indépendante du protocole et un cadre de travail de qualité de service bien défini. Il est de la responsabilité de la couche convergence de traduire le protocole originel dans ce cadre de travail sous-jacent.

Le présent appendice décrit la couche de convergence G.9954, ses interfaces logiques et les exigences générales pour les couches de convergence spécifiques d'un protocole particulier. Dans la mesure où l'interface logique entre les couches convergence et Liaison sont entre des couches de piles de protocoles développés par le même fabricant, il n'y a pas de problèmes de compatibilité entre les solutions des différents fabricants. Par conséquent, le contenu de cet appendice devrait être considéré comme de nature informative et utilisé comme simples lignes directrices pour les implémentations.

I.1 Aperçu général

La pile de protocoles de G.9954 prend en charge des interfaces et le passage à des protocoles de réseaux externes au moyen de la couche de convergence. Les sous-couches de convergence de protocole disponibles sur un appareil G.9954 sont publiées en utilisant le protocole d'annonces de capacité et d'état de la couche Liaison, voir le § 10.6. Les couches de convergence Ethernet et IP sont définies par défaut.

Il est de la responsabilité de la couche de convergence de protocole de transposer les paquets de données qui arrivent d'une interface particulière dans les *flux* appropriés pour le service particulier. Les flux définis pour une couche de convergence particulière sont établis par la couche de convergence elle-même d'une façon qui dépend de l'implémentation, éventuellement lors de l'initialisation, à réception des données des couches supérieures, à l'admission au réseau ou sur demande. Pour un flux, les paramètres de trafic et de débit du flux peuvent aussi être définis d'une façon qui dépend de l'implémentation, peut-être par les protocoles de couche supérieure, ou configurés en utilisant des opérations de gestion ou des données de configuration conservées dans une mémoire non volatile.

Les sous-couches de convergence G.9954 considérées pour la pile de protocoles G.9954 incluent IEEE 802.3/Ethernet, les protocoles IP, USB et IEEE 1394. De plus, les interfaces de passage vers les protocoles d'accès au haut débit, tels que DOCSIS et les protocoles d'accès sans fil, tels que IEEE 802.11 et IEEE 802.16, sont envisagées, comme le sont des sous-couches de convergence de niveau application pour des applications de livraison de flux de transport MPEG.

Le mappage et la convergence de protocole à un niveau bien défini de la pile de protocoles permet un bon niveau de synchronisation entre protocoles externes et résidents. De plus, étant donné que la qualité de service est définie en des termes similaires à ceux des réseaux externes, cela étend la prise en charge de la qualité de service des réseaux externes au réseau domestique.

La couche de convergence peut effectuer les fonctions suivantes:

- servir d'interface aux protocoles de couche supérieure et recevoir des PDU des couches supérieures;
- signaler l'établissement de flux de trafic et de classeurs dans des entités de couche de convergence, Liaison et MAC locales et homologues;
- classer les PDU de couche supérieure en utilisant la connaissance intégrée des protocoles, et transposer les PDU dans les flux sous-jacents;

- effectuer les fonctions de passage et de traduction d'adresses;
- effectuer tout traitement spécial de PDU avant de les passer aux couches Liaison/MAC (par exemple, retirer les informations d'en-tête de charge utile);
- envoyer les PDU de couche supérieure aux couches Liaison/MAC de PNT;
- recevoir des PDU transportés par les couches PHY/MAC de PNT et effectuer tout traitement spécifique de protocole avant livraison aux couches de protocole supérieures;
- effectuer la signalisation de sous-couche de convergence d'homologue à homologue;
- effectuer l'échantillonnage des données et le contrôle de synchronisation.

On ne suppose pas le partage du système entre les fonctions de couche Liaison et Convergence car il est possible d'implémenter ces deux protocoles à la fois sur circuit intégré et sur pilote hôte externe.

I.2 Primitives de couche Convergence

Le paragraphe ci-après décrit l'interface de couche Convergence avec les couches inférieures de la pile de protocoles G.9954. Comme les détails de l'interface couche de Convergence – LLC dépendent de l'implémentation, cette interface est décrite sous forme d'un ensemble de primitives prises en charge par le point d'accès de contrôle de couche Liaison (LLC_SAP).

Les types de primitives suivants sont définis:

– req (demande) – primitive utilisée par la sous-couche convergence pour demander un service à la sous-couche LLC.

– cnf (confirmation) – primitive utilisée par la sous-couche LLC pour confirmer qu'une activité demandée a été achevée.

– ind (indication) – primitive utilisée par la sous-couche LLC pour notifier à la sous-couche convergence une activité spécifique se rapportant au service.

– rsp (réponse) – primitive utilisée par la sous-couche convergence pour accuser réception d'une primitive d'indication provenant de la sous-couche LLC.

Les primitives et leurs relations sont illustrées dans la Figure I.1:

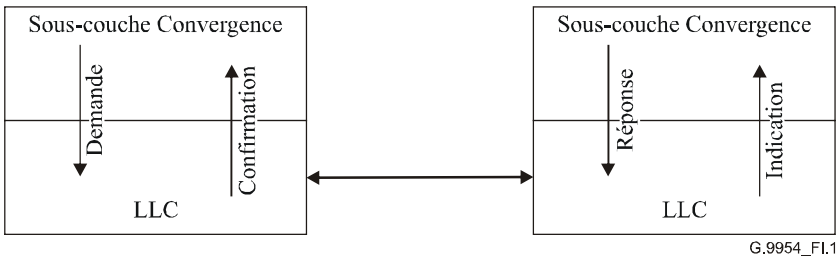

Figure I.1/G.9954 – Primitives de service

La Figure I.2 illustre l'interface couche de Convergence – Couche Liaison.

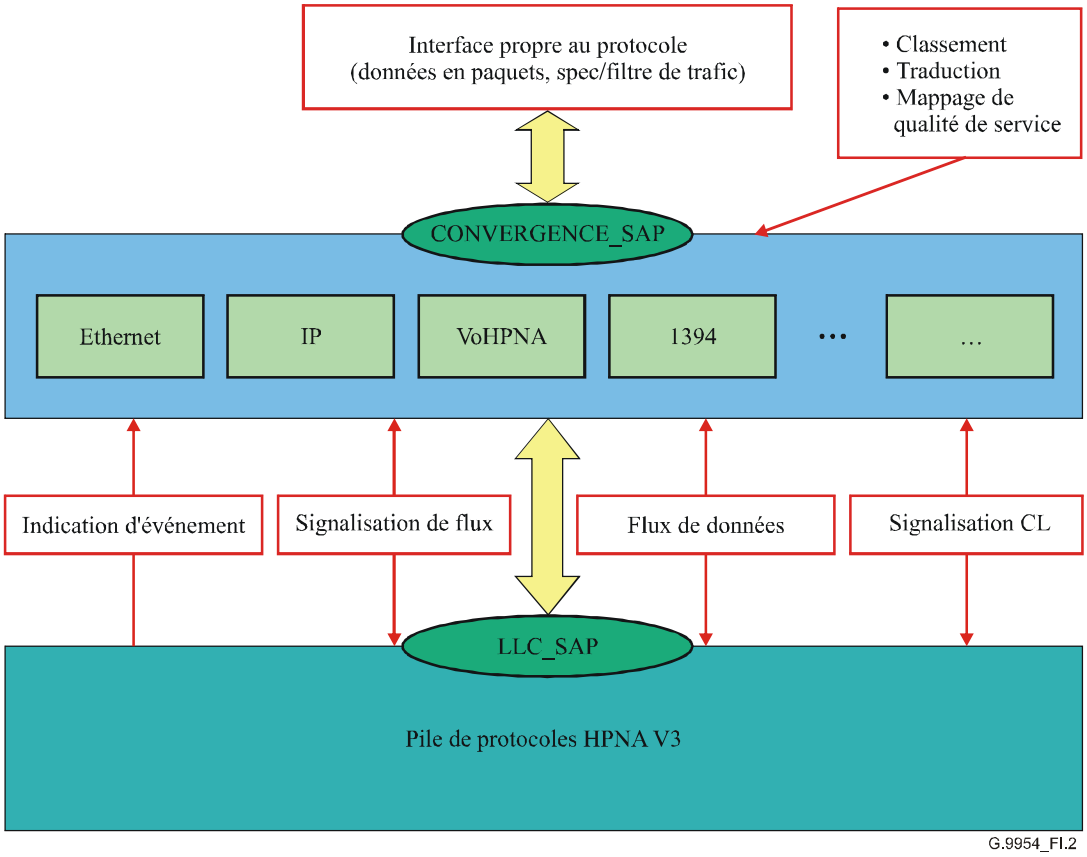

Figure I.2/G.9954 – Primitives de couche de Convergence – Couche Liaison

I.2.1 Primitives de signalisation de flux

I.2.1.1 LLC_SETUP_FLOW { req, cnf, ind, rsp }

Cette primitive sert à établir un flux entre une source et des destinations simples ou multiples sur le réseau. Il est spécifique du protocole de savoir quel événement au niveau du protocole va causer l'établissement d'un flux et quelles sont les caractéristiques du flux.

La primitive **demande** (req) est utilisée par la couche Convergence pour demander l'établissement d'un flux avec des propriétés de flux définies et la spécification de classeurs de trafic (voir au § 9.2). Si la source du flux est aussi l'appareil qui demande l'établissement du flux, la spécification du classeur de trafic n'a qu'une signification locale. La primitive **demande** n'est normalement générée qu'à la source ou à la destination d'un flux bien qu'il soit possible qu'elle puisse être générée par le maître.

La primitive **indication** (ind) sert à notifier à la couche Convergence l'établissement d'un flux. Les propriétés du flux et le classeur de trafic sont passés à la couche Convergence. Les propriétés du flux livrées à la couche Convergence le sont après le contrôle d'admission et contiennent les propriétés de QS et l'*ID de flux* alloué. La primitive **indication** peut être utilisée pour déclencher des opérations de signalisation avec les protocoles de couche supérieure et pour initialiser, installer ou remplir des structures de données spécifiques du protocole telles que des tableaux de traduction d'adresses et de pontage.

La primitive **réponse** est utilisée par la couche Convergence pour signaler à la couche Liaison l'état de la demande d'établissement du flux du point de vue des protocoles de couche supérieure. Elle donne l'opportunité à la couche de protocole supérieure de rejeter la demande d'établissement du flux ou les propriétés du flux offertes du fait de considérations spécifiques du protocole.

La primitive **confirmation** (cnf) sert à notifier au demandeur l'état de la **demande** et à faire rapport des informations concernant le flux, y compris l'*ID de flux* et les paramètres de flux offerts. Les paramètres de flux réels (offerts) peuvent différer de ceux de la demande d'origine du fait de limitations de ressources.

Les paramètres du Tableau I.1 sont utilisés dans cette primitive:

Tableau I.1/G.9954 – Paramètres de primitive

Paramètre	Demande	Confirmation	Indication	Réponse
Propriétés du flux	√	√	√	√
Spécification de filtre de trafic	√		√	
Etat		√		√

Où:

- Propriétés du flux – Propriétés du flux à établir (voir la spécification de qualité de service). La sous-couche convergence participant à l'interface est spécifiée dans le paramètre Propriétés du flux comme l'ID de flux alloué au flux.
- Spécification de filtre de trafic – Spécification de filtre comme défini dans la spécification de qualité de service. La spécification d'action pour le filtre est ADD.
- Etat – Etat de la demande d'établissement dans le type de primitive confirmation.

Pour d'autres informations, voir le § 10.17.

I.2.1.2 LLC_MODIFY_FLOW { req, cnf, ind, rsp }

La primitive **demande** sert à demander la modification des propriétés ou des filtres de classement de trafic associés d'un flux. Le flux est identifié par l'*ID de flux* dans le paramètre propriétés du flux.

La primitive **indication** sert à notifier à la couche Convergence les modifications demandées. Les propriétés du flux sont après le contrôle d'admission. La spécification de filtre de classement de trafic peut indiquer une action d'ajout, de modification ou de suppression. Cette primitive peut déclencher des opérations dans le protocole de couche supérieure et peut causer des modifications des structures de données internes.

La primitive **réponse** permet à la sous-couche Convergence d'accepter ou rejeter la demande de modification.

La primitive **confirmation** sert à informer la couche Convergence du résultat de la demande.

Les paramètres du Tableau I.2 sont utilisés dans cette primitive:

Tableau I.2/G.9954 – Paramètres de primitive

Paramètre	Demande	Confirmation	Indication	Réponse
Propriétés du flux	√	√	√	√
Spécification de filtre de trafic	√		√	
Etat		√		√

Où:

- Propriétés du flux – Propriétés du flux à modifier (voir le paragraphe sur la qualité de service). L'ID de flux du flux à modifier est codé dans les propriétés du flux.

- Spécification de filtre de trafic – Spécification du filtre utilisé pour transposer le flux. les actions définies pour la spécification du filtre comportent ajouter, modifier et supprimer un filtre.
- Etat – Etat d'une demande de modification en type de primitive confirmation.

Pour d'autres informations, voir le § 10.17.3.2.

I.2.1.3 LLC_TEARDOWN_FLOW { req, cnf, ind, rsp }

Cette primitive est utilisée pour supprimer un flux existant identifié par son *ID de flux.*

Les paramètres du Tableau I.3 sont utilisés dans cette primitive:

Tableau I.3/G.9954 – Paramètres de primitive

Paramètre	Demande	Confirmation	Indication	Réponse
Adresse MAC de source	√	√	√	√
Adresse MAC de destination	√	√	√	√
ID de flux	√	√	√	√
Etat		√		√

Où:

- Adresse MAC de source – Adresse de l'appareil à la source du flux.
- Adresse MAC de destination – Adresse de l'appareil à la destination du flux.
- ID de flux – Identifie le flux à supprimer.
- Etat – Etat de la demande de modification en type de primitive de confirmation.

Pour d'autres informations, voir le § 10.17.3.3.

I.2.2 Primitives de flux de données

I.2.2.1 LLC_DATA { req, cnf, ind }

Cette primitive sert à envoyer des paquets de données entre entités homologues de sous-couche convergence.

La primitive **demande** sert à demander le transfert d'un paquet de couche de protocole ou d'informations de couche convergence à une entité homologue de couche convergence sur un flux particulier (identifié par l'*ID de flux)* ou en utilisant une *priorité* particulière (en mode sans maître).

La primitive **indication** sert à notifier à la sous-couche convergence l'arrivée des informations de couche convergence. La notification inclut l'horodatage du moment de réception mesuré par référence à un point commun dans la trame de transmission. Le point défini suit immédiatement la SA dans la trame dans laquelle la trame est arrivée.

La primitive **confirmation** sert à notifier l'achèvement de la demande de transfert de données. Les paramètres de la primitive incluent l'*Etat* de la demande et l'horodatage du moment où les données ont réellement été transmises sur le support.

Les paramètres du Tableau I.4 sont utilisés dans cette primitive:

Tableau I.4/G.9954 – Paramètres de primitive

Paramètre	Demande	Confirmation	Indication	Réponse
FC	√		√	
DA	√			
SA			√	
EtherType	√		√	
Agrégation MAC	√			
Longueur de charge utile	√		√	
Charge utile	√		√	
FCS	√		√	
Horodatage d'émission		√		
Horodatage de réception			√	
Etat		√	√	

Où:

- FC – Est le Contrôle de trame et inclut le Type de trame et le Sous-type de trame, Priorité/ID de flux et PE.
- DA – Est l'Adresse de destination de la SDU.
- SA – Est l'Adresse de source de la SDU.
- EtherType – Est le type Ethernet défini pour la trame.
- Agrégation MAC – Indique si le paquet devrait être agrégé par la couche MAC avec d'autres paquets appartenant à la même priorité ou flux. Ce paramètre sert à indiquer si aucune agrégation ne doit être effectuée (valeur de 0), ou si le paquet est candidat à l'agrégation (valeur de 1).
- Charge utile – Sont les données de charge utile que la pile de protocoles doit livrer. Cette charge utile peut venir de la couche Liaison ou des couches de convergence de protocole de la pile de protocoles. Le format de trame de charge utile n'est pas nécessairement une trame Ethernet et peut venir de toute couche de convergence comme indiqué par le paramètre FT.
- Longueur de charge utile – Est la longueur des données de la charge utile.
- FCS – Est une vérification de trame de 32 bits facultative qui peut être fournie avec la trame.
- Horodatage d'émission – Horodatage de transmission réelle. L'heure est spécifiées en unités de 2^{-13} ms.
- Horodatage de réception – Horodatage de la réception réelle. L'heure est spécifiée en unités de 2^{-13} ms.
- Etat – Est l'état d'émission/réception des données.

I.2.3 Primitives d'indication d'événement

I.2.3.1 LLC_MAC_CYCLE { ind }

Cette primitive sert à notifier à la couche convergence les informations de distribution du cycle MAC et du plan d'accès au support (les allocations de bande passante). La primitive fournit des informations qui permettent aux couches convergence de synchroniser les couches de protocole supérieures avec le cycle MAC de G.9954, de synchroniser les débits d'échantillonnage et d'utiliser

les informations d'allocation des ressources du support pour la signalisation au niveau des protocoles.

Cette primitive est destinée à être utilisée dans les couches convergence qui servent d'interface avec les protocoles de couches supérieure qui sont synchrones par nature ou acceptent des services isochrones et requièrent un certain degré de synchronisation. Des exemples de tels protocoles sont IEEE 1394, USB, etc.

Les paramètres du Tableau I.5 sont utilisés dans cette primitive:

Tableau I.5/G.9954 – Paramètres de primitive

Paramètre	Demande	Confirmation	Indication	Réponse
MAP			√	
Heure programmée de début de cycle MAC			√	
Heure réelle de début de cycle MAC			√	
Heure de l'indication			√	

Où:

- MAP – Est la trame de contrôle de MAP.
- Heure programmée de début de cycle MAC – Est l'heure à laquelle le début du cycle MAC était programmé.
- Heure réelle de début de cycle MAC – Est l'heure à laquelle le cycle MAC a réellement débuté. Cela peut différer de l'Heure programmée de début de cycle MAC si de la gigue a été introduite dans le cycle MAC du fait de brouillage AMAC.
- Heure de l'indication – Est l'heure à laquelle l'indication a réellement été livrée à la couche convergence.

Pour une description plus poussée des paramètres utilisés dans la primitive LLC_MAC_CYCLE, voir la description du MAP au § 10.14.1.

I.2.3.2 LLC_NETWORK_ENTRY { ind }

Cette primitive sert à notifier à la couche convergence l'enregistrement de l'appareil auprès du maître et l'ID d'appareil alloué.

Les paramètres du Tableau I.6 sont utilisés dans cette primitive:

Tableau I.6/G.9954 – Paramètres de primitive

Paramètre	Demande	Confirmation	Indication	Réponse
ID d'appareil			√	√
Adresse MAC 802.3			√	√

Où:

- ID d'appareil – Est l'ID d'appareil alloué par le maître.
- Adresse MAC 802.3 – Est l'adresse MAC IEEE de 48 bits allouée au nœud.

I.2.3.3 LLC_NETWORK_EXIT { ind }

Cette primitive sert à notifier à la couche convergence le désenregistrement d'un appareil auprès du maître.

Les paramètres du Tableau I.7 sont utilisés dans cette primitive:

Tableau I.7/G.9954 – Paramètres de primitive

Paramètre	Demande	Confirmation	Indication	Réponse
ID d'appareil			√	

Où:

- ID d'appareil – Est l'ID d'appareil alloué par le maître.

I.2.3.4 LLC_SYNC_EVENT { ind }

Cette primitive sert à notifier à la couche convergence la synchronisation d'un appareil G.9954 avec un cycle MAC généré par le maître.

Tableau I.8/G.9954 – Paramètres de primitive

Paramètre	Demande	Confirmation	Indication	Réponse
Evénement de synchronisation			√	

I.2.3.5 LLC_SYNC_LOSS_EVENT { ind }

Cette primitive sert à notifier à la couche convergence la perte de synchronisation d'un appareil G.9954 avec un cycle MAC généré par le maître.

Tableau I.9/G.9954 – Paramètres de primitive

Paramètre	Demande	Confirmation	Indication	Réponse
Evénement de perte de synchronisation			√	

I.3 Architecture de couche convergence

La structure interne des composants de la couche convergence conformément au modèle décrit ci-dessus est illustrée à la Figure I.3:

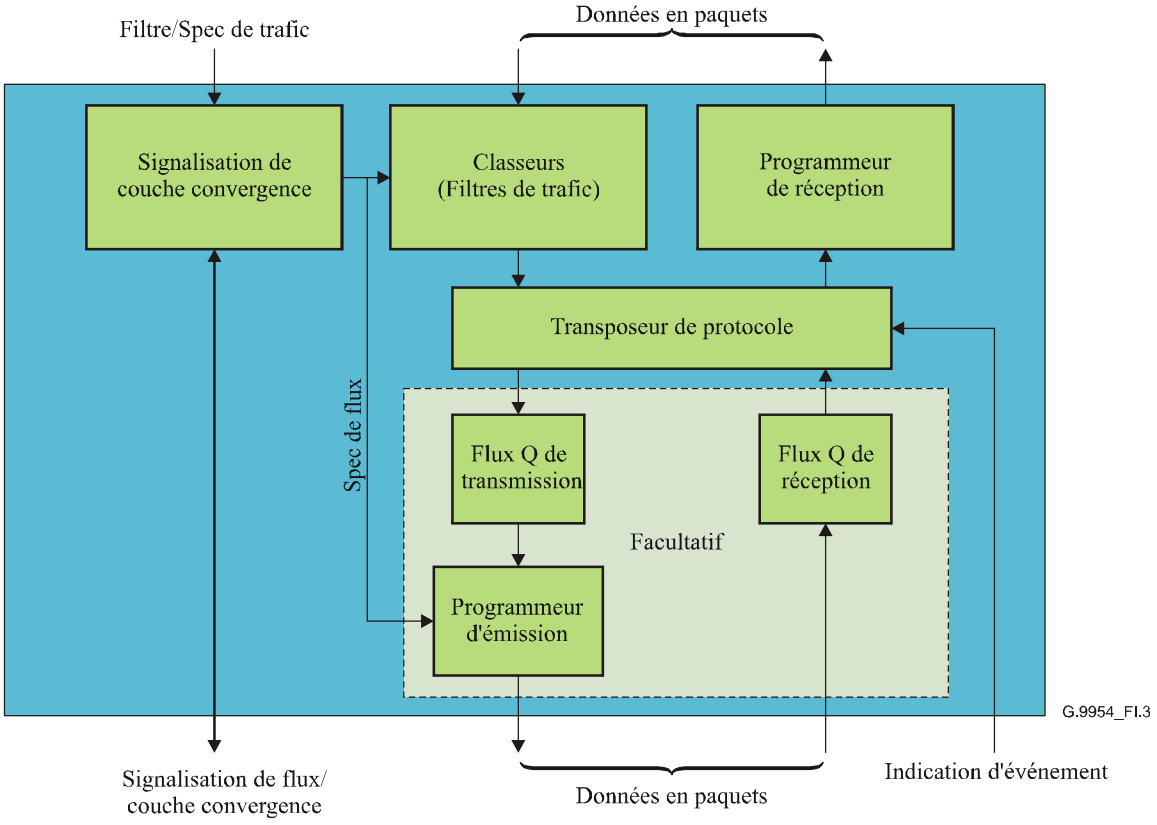

Figure I.3/G.9954 – Architecture de couche convergence

Les composants du bloc de couche convergence sont responsables des fonctions suivantes:

- **Signalisation de flux/couche Convergence** – Ce composant est chargé d'effectuer la signalisation d'établissement/suppression de flux et de signalisation de sous-couches convergence homologues. Il répond aux demandes d'établissement de flux, provenant des couches supérieures de protocole ou de l'intérieur de la couche convergence elle-même, et gère la signalisation de niveau homologue de la couche convergence. Il communique avec le Classeur afin de définir les spécifications de filtre de trafic et avec le programmeur d'émission afin de définir la spécification de débit de trafic.
- **Classeur** – Le Classeur est chargé de transposer les données de paquets entrants en flux en utilisant la spécification de filtre de trafic définies par le composant de signalisation de couche convergence.
- **Mappeur de protocole** – Ce composant est une entité facultative qui peut effectuer des fonctions de mappage spécifiques du protocole.
- **Files d'attente de flux** – Les files d'attente de flux sont des structures de données facultatives utilisées pour conserver les paquets qui sont en attente de programmation par le composant de programmation approprié. Les files d'attente de flux sur le côté émission peuvent être des baquets de jetons qui sont utilisés pour le formatage du trafic.
- **Programmeur d'émission** – Le programmeur d'émission est chargé de choisir les paquets dans la file d'attente du flux d'émission et de les livrer à l'appareil du réseau sous-jacent. Il peut effectuer des fonctions de mise en forme du trafic. Cette fonction peut être triviale

dans les implémentations qui n'exigent pas de files d'attente de flux et de mise en forme dans la couche de convergence.

- **Programmeur de réception** – Le programmeur de réception est chargé de la livraison des paquets reçus à l'interface réseau des couches de protocole supérieures. Les paquets qui arrivent du réseau peuvent passer par le transposeur de protocole afin d'effectuer la fonction inverse de mappage de protocole.

Les sous-couches de convergence peuvent avoir besoin d'entretenir plusieurs structures de données afin d'implémenter les fonctions de sous-couche. Parmi les exemples de ces structures de données figurent les files d'attentes de trafic, utilisées pour formater le trafic conformément aux paramètres de débit, les mémoires tampon utilisées pour équilibrer les différences des fréquences de cycle entre les protocoles de niveau supérieur et inférieur, les tableaux de mappage d'adresses utilisés pour le passage entre réseaux, etc.

Comme les besoins en mémoire peuvent être significatifs pour certaines sous-couches de convergence, il est possible que des sous-couches de convergence soient implémentées au niveau du pilote hôte et non dans le microprocesseur.

I.4 Déclenchement d'établissement de flux

L'établissement du flux peut être déclenché par les événements suivants:

- enregistrement de l'appareil auprès du maître;
- arrivée d'une unité de données de service (SDU) d'une couche supérieure;
- sur demande d'une couche de protocole supérieure;
- opérations de gestion.

Dans le premier cas, lorsque l'établissement de flux est déclenché par le processus d'enregistrement, l'opération peut être lancée soit par le maître soit par les points d'extrémité. Dans les deux cas, l'hypothèse est que le maître et/ou les points d'extrémité savent quels flux doivent être approvisionnés après enregistrement et quelles sont les propriétés des flux. Ces informations peuvent être intégrées à l'avance dans la couche convergence ou elles peuvent être obtenues d'après les paramètres de configuration.

Dans le second cas, lorsqu'un flux est établi à l'arrivée d'une SDU, l'hypothèse est que la couche convergence a des filtres de trafic installés qui lui permettent de classer une SDU à son arrivée et d'identifier les propriétés du flux qui doit être établi pour traiter ce type de trafic. Elle devrait alors initialiser l'établissement de flux en utilisant la spécification de flux attachée au filtre. Les filtres et leur association au descripteur de propriétés de flux peuvent être intégrés à l'avance dans la couche convergence ou peuvent être installés dans des données de configuration.

Les protocoles de couche supérieure peuvent aussi initialiser l'établissement d'un flux avec des propriétés spécifiques. Par exemple, des applications peuvent lancer l'établissement d'un flux en réponse au traitement de messages de signalisation RSVP ou DOCSIS équivalents.

Les opérations de gestion, qu'elles soient initialisées du côté local ou distant de l'appareil, peuvent lancer l'établissement d'un flux avec des propriétés de flux bien définies.

I.5 Classement

Le classement est le processus par lequel les PDU de couche supérieure sont transposés en flux G.9954. Le processus de classement est spécifique du protocole et peut inclure un ensemble de règles de classement qui sont traitées dans un ordre de priorité particulier.

Les règles de classement qui s'appliquent à un flux font partie de la description du flux. Ce modèle est cohérent avec le modèle RSVP qui définit un *descripteur de flux* comme le composé d'une *spécification de flux* (le composant qui se rapporte au trafic) et d'une *spécification de filtre.*

Pour la description des filtres de classement du trafic, voir au § 9.3.

I.6 Interfaces de couche convergence avec les couches de protocole supérieures

Chaque sous-couche convergence fournit sa propre interface spécifique de protocole avec la couche supérieure. Toutes les interfaces fournissent une ou des primitives pour le transport et la réception des unités de données protocolaires de couche supérieure. Les primitives à cette interface sont de la forme:

- demande XXX_CSL_DATA – Utilisée pour demander la transmission de données.
- confirmation XXX_CSL_DATA – Utilisée pour notifier à la couche supérieure l'état de la demande de transmission.
- indication XXX_CSL_DATA – Utilisée pour notifier à la couche supérieure XXX l'arrivée des données.

I.7 Couches de convergence spécifiques de protocole

I.7.1 Convergence IP

Le traitement de la couche de convergence IP peut utiliser les règles de filtrage de paquet du protocole RSVP. Ces règles spécifient le classement conformément aux critères suivants:

- champ Type de service (TOS) IP;
- numéro de protocole IP;
- adresse IP de source;
- adresse IP de destination;
- numéro de port de Source de protocole IP;
- numéro de port de destination de protocole IP.

Pour plus de détails sur les classeurs de trafic IP, voir le § 10.17.

I.7.2 Convergence Ethernet

Le traitement de la couche de convergence Ethernet effectue le classement des PDU sur la base des critères suivants:

- adresse MAC de destination Ethernet;
- adresse MAC de source Ethernet;
- type Ethernet et SAP 802.2;
- priorité de VLAN (802.1P);
- ID de VLAN (802.1Q).

Les types Ethernet spéciaux dans le Tableau I.10 sont reconnus par la couche de convergence Ethernet et résultent en des PDU qui sont acheminés au composant de couche de convergence approprié:

Tableau I.10/G.9954 – Types Ethernet acheminés

Type Ethernet	Description
0x0800	Paquet IP acheminé à la couche de convergence IP
0x0806	Paquet ARP acheminé à la couche de convergence IP
0x86DD	Paquet Ipv6 achemine à la couche de convergence Ipv6

Pour plus de détails sur les filtres de classement de trafic Ethernet, voir le § 10.17.

I.7.3 Convergence IEEE 1394 (bus IEEE)

Les primitives pour cette sous-couche de convergence feront l'objet d'un complément d'étude.

I.7.4 Convergence de bus en série universel (USB)

Les primitives pour cette sous-couche de convergence feront l'objet d'un complément d'étude.

Appendice II

Recommandations pour l'interface indépendante du support (MII)

L'interface indépendante du support (MII) telle que spécifiée dans la clause 22 de la norme 802.3-1998 de l'IEEE, est une interface commune qu'on trouve sur de nombreux processeurs de réseautage existants. Alors qu'il existe de nombreuses implémentations possibles pour faire l'interface entre une couche PHY de G.9951/2 avec une couche MAC Ethernet existante via l'interface MII, les lignes directrices suivantes donnent une référence pour la conception d'une couche PHY entièrement compatible avec un processeur conforme à la Clause 22.

Le contrôle des flux est le principal problème de l'utilisation de l'interface MII. La spécification d'interface MII demande des horloges d'interface à une fréquence fixée de 25 MHz ± 100 ppm, résultant en un débit de transfert de données de 100 Mbit/s. La présente Recommandation fournit une large gamme de débits binaires allant de 4 Mbit/s à 128 Mbit/s. Pour la direction PHY vers MAC (réception), il y a une discordance de débit entre les couches PHY et MAC à cette interface. Cela peut entraîner des pertes de paquets dans le cas improbable où les transmissions sur le réseau sont à plein débit. Dans ce cas, un récepteur devrait limiter la taille maximale de sa mémoire tampon de réception de trames afin de forcer les émetteurs à transmettre des trames plus courtes et de garantir que le débit effectif n'excède pas la limite de 100 Mbit/s de l'interface MII. Pour la direction de MAC vers PHY (émission), la couche PHY a besoin d'une méthode pour contenir la couche MAC tant que les données précédentes sont en train d'être modulées et envoyées sur le réseau.

Ce contrôle de flux devrait utiliser le signal CRS dans un mode de "fausse détection de porteuse" pour contenir l'émetteur MAC au moyen du mécanisme de mise à l'écart. Les détails de cette signalisation sont décrits ci-dessous.

II.1 Aperçu général sur l'interface MII

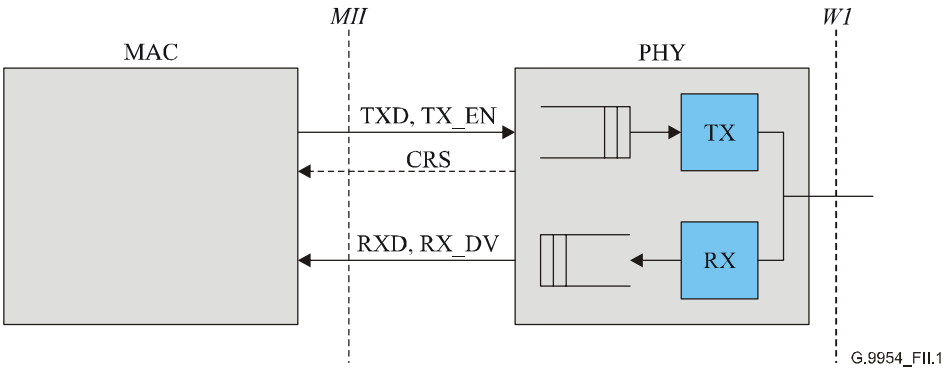

Figure II.1/G.9954 – Interface MII

II.1.1 Chemin des données de l'interface MII

L'interface MAC/PHY comporte les seize signaux suivants:

Tableau II.1/G.9954 – Signaux MAC/PHY

Signal	Direction par rapport à PHY	Description
TX_EN	Entrée	Signal de mise en trame d'émission
TXD[3:0]	Entrée	Quatre bits par horloge de données d'émission
TX_ER	Entrée	Erreur d'émission
TX_CLK	Sortie	Horloge d'émission (2,5 MHz ou 25 MHz)
CRS	Sortie	Détection de porteuse
RX_DV	Sortie	Réception de données valides
RXD[3:0]	Sortie	Quatre bits par horloge de données reçues
RX_CLK	Sortie	Horloge de réception
RX_ER	Sortie	Erreur de réception
COL	Sortie	Collision

II.1.2 Transmission sans collision

Voici un exemple de transfert d'un paquet de MAC à PHY. (Voir la Figure II.2.)

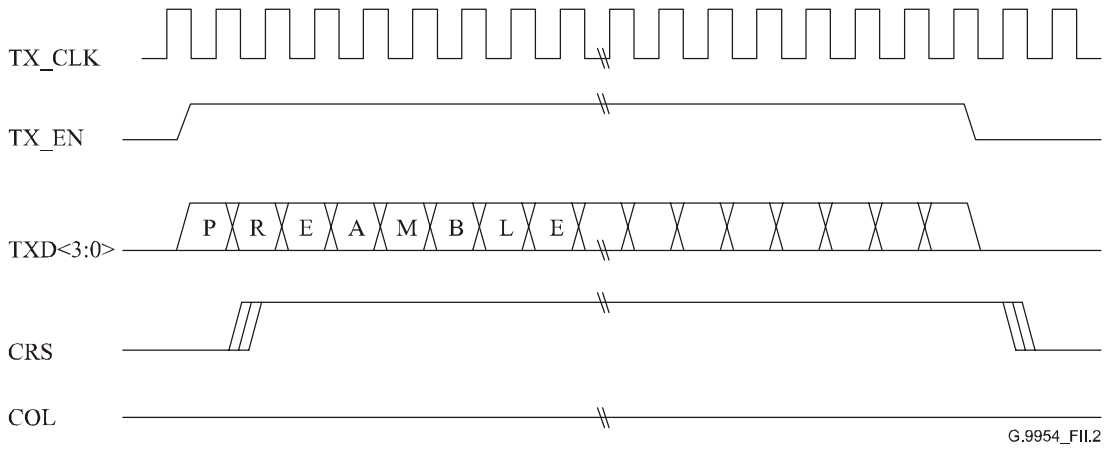

Figure II.2/G.9954 – Transfert de paquet de MAC à PHY

II.1.3 Réception sans erreur

Voici un exemple de transfert d'un paquet de PHY à MAC. (Voir la Figure II.3.)

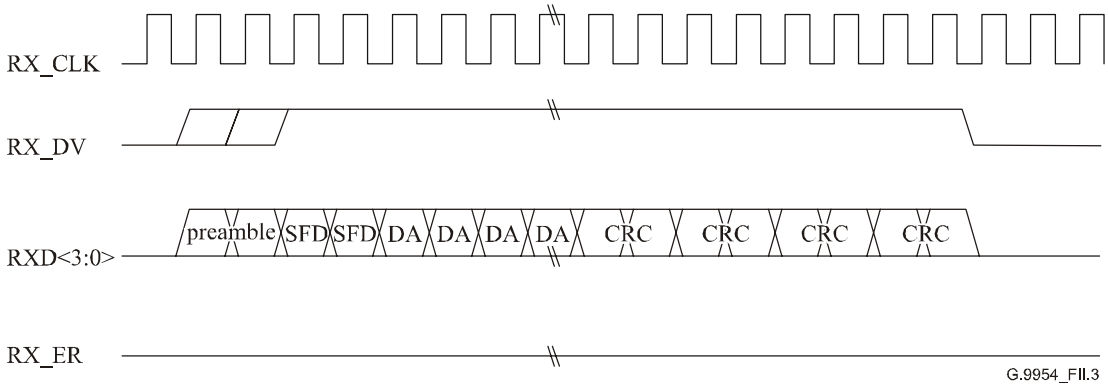

Figure II.3/G.9954 – Transfert de paquet de PHY à MAC

II.1.4 Signaux de gestion à l'interface MII

Deux signaux supplémentaires sont spécifiés pour la gestion des données d'entrée/sortie (MDIO, *management data I/O*) et de l'horloge des données de gestion (MDC, *management data clock*). La plupart, sinon toutes les couches MAC existantes, auront des broches d'interface MDIO/MDC, mais celles-ci ne sont vitales que pour les besoins de la gestion dans le cas où des registres de la couche PHY doivent pouvoir être consultés par l'hôte. Il n'y a habituellement pas d'exigence pour les fonctions de gestion fondées sur MII, et par conséquent, il n'est pas nécessaire que les appareils PNT implémentent MDIO/MDC. Cependant, s'il y a des registres dans la couche PHY, on devrait alors utiliser le protocole et la signalisation définis par MDIO/MDC dans la Clause 22 de la norme IEEE 802.3.

II.2 G.9951/2 Recommandations de signalisation

La description suivante se réfère à la Clause 22, spécification d'interface indépendante du support, utilisée en mode semi duplex à 100 Mbit/s. Pour tenir compte des différences de couche Physique entre G.9951/2 et Ethernet 100BASE-T, la couche PHY est supposée avoir une couche d'adaptation ou de réconciliation qui traite toutes les questions de distribution et de formatage des données. L'interface MII est utilisée comme canal de données qui retransfère les données en unités de paquets, dans des flux contrôlés par le signal de détection de porteuse (CRS).

II.2.1 TX_CLK et RX_CLK

La couche PHY génère une impulsion carrée stable, continue, de 25 MHz, qui est fournie par TX_CLK et RX_CLK. Aucun "espacement" ou autre méthode d'horloge variable n'est utilisé.

Le décalage de fréquence de l'horloge générée devrait être contrôlé pour permettre d'utiliser toutes implémentations MAC standards.

II.2.2 TX_ER et RX_ER

TX_ER est normalement utilisé dans des situations où l'émetteur au dessus de la couche PHY a détecté une condition d'erreur, mais l'émission est actuellement en cours. TX_ER indique à une couche PHY que le paquet en cours est erroné et devrait être lésé sur le réseau pour garantir qu'un récepteur ne va pas l'accepter comme paquet valide. Normalement, c'est une condition qui ne s'applique qu'aux répéteurs. Les répéteurs n'effectuent pas de vérification d'erreur sur la totalité du paquet. Dans le cas d'une DTE (parfois désigné comme un "nœud"), l'émetteur garantit habituellement que la trame est sans erreur et il n'y a pas besoin du signal TX_ER. Comme G.9951/2 est fondé sur une topologie de câblage en bus, aucun répéteur n'est spécifié et l'utilisation

du signal TX_ER n'est pas prévue. Cependant, la couche PHY de G.9951/2 peut choisir de répondre au signal TX_ER.

RX_ER est normalement utilisé dans des situations où la couche PHY détecte une erreur dans le flux de réception par suite du décodage. La couche PHY de G.9951/2 peut faire valoir ce signal dans le cas de détection d'une telle erreur.

II.2.3 TX_EN

TX_EN en provenance de la couche MAC fournit la mise en trame pour le paquet Ethernet. TX_EN actif indique à la couche PHY que les données sur TXD[3:0] devraient être échantillonnées en utilisant TX_CLK.

II.2.4 TXD[3:0]

TXD[3:0] contient les données à transmettre et transite de façon synchrone par rapport à TX_CLK. TXD[0] est le bit de plus faible poids. On suppose habituellement que les données vont contenir une trame Ethernet correctement formatée. C'est-à-dire que les premiers bits sur TXD[3:0] correspondent au préambule, suivis par SFD et le reste de la trame Ethernet (DA, SA, longueur/type, données, CRC).

La couche PHY supprime le préambule 802.3 sur les transferts de MAC à PHY.

II.2.5 RX_DV

RX_DV est garanti par la couche PHY pour indiquer que la couche PHY a décodé les données reçues à présenter à la couche MAC.

II.2.6 RXD[3:0]

RXD[3:0] contient les données récupérées du support par la couche PHY et les transite de façon synchrone par rapport à RX_CLK; RXD[0] est le bit de plus faible poids. On suppose que la couche PHY a correctement formaté la trame de sorte que la couche MAC sera présentée avec le préambule attendu plus SFD.

Les chemins de données TXD et RXD sont en duplex complet, bien qu'on utilise l'interface MII en mode semi-duplex. RX_DV n'est jamais affirmé en même temps que TX_EN.

II.2.7 CRS

En émission, la couche PHY fait valoir CRS quelques instants après que TX_EN devienne vrai, et abandonne CRS après que TX_EN devient faux ET lorsque la couche PHY est prête à recevoir un autre paquet. Lorsque CRS tombe, la couche MAC calcule une temporisation IFG (0,96 µs) et peut faire valoir TX_EN à nouveau s'il y a un autre paquet à envoyer.

Ceci diffère du comportement nominal de CRS en ce que CRS peut s'étendre après la fin du paquet d'une quantité de temps arbitraire, alors que la couche PHY obtient l'accès au canal et transmet le paquet. Voir la Figure II.4.

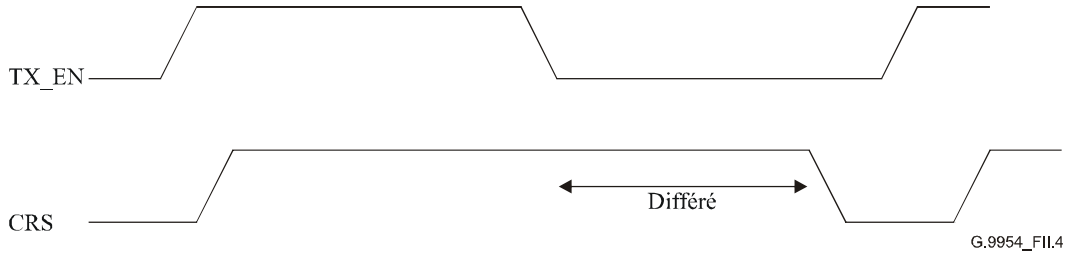

Figure II.4/G.9954 – Sens émission

Les couches MAC en mode 100 Mbit/s n'utilisent pas une temporisation bredouillante, et il n'y a donc pas de restriction de temporisation sur la durée pendant laquelle on peut faire valoir CRS (autrement que des temporisations sanitaires que la couche PHY peut implémenter).

Les transmissions peuvent prendre des raccourcis ou commencer à être modulées sur le réseau aussitôt que commence le transfert, car l'interface MII va remplir la mémoire tampon de la couche PHY plus vite que les données ne deviennent disponibles pour le modulateur. Lorsqu'un paquet arrive à la couche PHY, il tente d'obtenir l'accès au canal en utilisant l'algorithme CSMA/CD de priorité décrit au § 7. Ceci peut ne pas arriver avant que la totalité du paquet ne soit transférée à travers l'interface MII, et la couche PHY devra donc mettre en mémoire tampon au moins une MTU pour effectuer cette adaptation de débit.

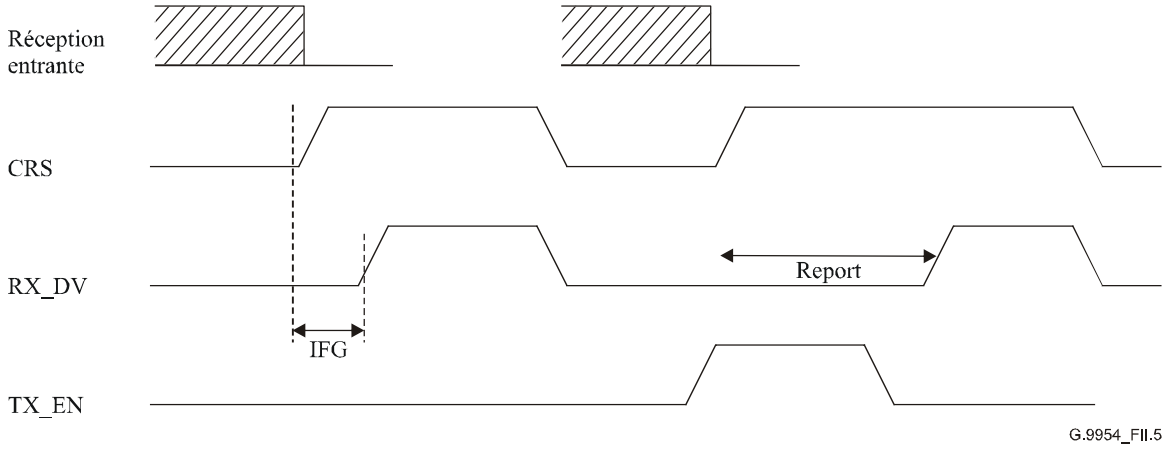

Figure II.5/G.9954 – Sens réception

En réception, lorsque la couche PHY prévoit qu'elle va avoir un paquet démodulé, elle soulève CRS pour saisir le canal MII semi-duplex, attend un bref instant (un intervalle IFG), puis peut attendre jusqu'à TX_EN (qui peut avoir été juste mis en valeur) plus un intervalle IFG, puis soulève alors RX_DV pour transférer le paquet. A la fin du transfert, il laisse retomber CRS sauf si la mémoire tampon de transmission est pleine ou s'il y a un autre paquet en réception prêt au transfert. (Voir à la Figure II.5, où un transfert en réception est suivi par un second qui fait attendre jusqu'à TX_EN.)

RX_DV ne devrait pas être validé tant que la couche PHY n'est pas sûre que la totalité du paquet sera prête au transfert au débit de 100 Mbit/s. Cela implique une certaine mise en mémoire du côté réception pour faire cette adaptation de débit. Une fois que commence le transfert de rafale MII, de nouvelles données peuvent commencer à remplir la mémoire tampon, car le transfert MII est sûr de rester devant l'arrivée des données qui sortent du réseau.

Les transferts en sens réception ont besoin d'avoir la priorité sur le sens émission pour garantir que la mémoire tampon se vide plus vite que les paquets n'arrivent du réseau. La durée d'attente la plus longue que devrait subir le récepteur est le temps de transfert d'une trame d'émission plus un intervalle IFG ou approximativement 134 µs. Cependant, des trames de taille minimale peuvent arriver à un débit de crête d'une toutes les 65 µs, et ainsi la mémoire tampon du côté de réception doit traiter plusieurs trames (mais seulement un peu plus qu'une unité MTU de données).

II.2.8 COL

COL n'est pas utilisé. De la façon dont la couche PHY gère l'interface MII, les collisions entre les transferts de direction réception et émission ne surviennent pas.

II.3 Couche convergence "externe" de G.9954

Les interfaces à des couches MAC externes reposent dans G.9954 sur l'implémentation de couches de convergence spécifiques du protocole. La séparation de la couche convergence des sous-couches Liaison et MAC de G.9954 facilite la confection d'implémentations de protocoles et d'interfaces externes à G.9954. De plus elle se prête elle-même à une solution externe où la logique de la couche convergence réside dans le logiciel du pilote de l'hôte. Dans un tel environnement, où les exigences de mémoire peuvent être plus lâches, la couche de convergence peut servir à cacher la complexité de l'interface entre les couches MAC externes et l'appareil G.9954.

Les paragraphes qui suivent décrivent l'architecture de couche convergence "externe" et la façon dont elle peut être incorporée de façon transparente dans un environnement de pilote logiciel fondé sur le NDIS ou une architecture similaire. Une discussion des problèmes d'implémentation de l'interface MII suit.

Dans les configurations où la complexité de l'interface est limitée ou lorsque des pilotes de logiciels standards sont utilisés, les fonctions de couche de convergence devraient être effectuées dans un "pilote de logiciels intermédiaire", fonctionnant dans le système d'exploitation de l'hôte à un niveau situé entre le "pilote de logiciel standard" de l'hôte et l'interface matériel. Dans une telle configuration, le "pilote de logiciels intermédiaire" devrait être chargé d'effectuer la mise en mémoire tampon des paquets et le "formatage du trafic" afin de garantir la livraison matérielle des paquets à un débit binaire qui n'excède pas la spécification de trafic des flux actifs.

Le modèle architectural qui fonctionne avec la couche convergence de G.9954 en externe dans le "pilote de logiciels intermédiaire" est décrit à la Figure II.6.

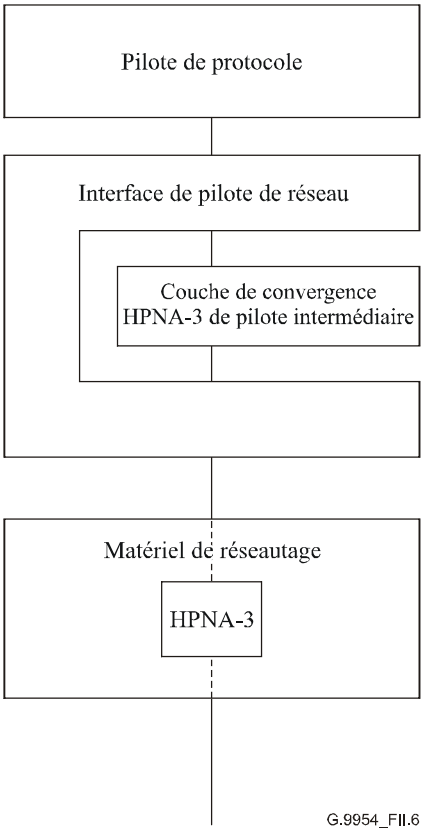

Figure II.6/G.9954 – Couche de convergence "externe"

Ce modèle suppose l'existence d'un Interface de pilote de réseau localisé entre le pilote de protocole (par exemple, un pilote 802.3) et le matériel de réseautage réel. Il suppose aussi qu'il y a un moyen d'interfacer le pilote de logiciels intermédiaire dans l'interface de pilote de réseau de façon transparente de sorte que tous les paquets qui atteignent l'interface de pilote de réseau en provenance du pilote de protocole ou du matériel de réseautage soient déroutés par le pilote intermédiaire.

Le modèle de pilote intermédiaire convient pour effectuer les types de fonctions suivantes:

- traduction de protocole – Transpose les paquets selon les formats de protocole. Peut inclure le pontage et les tableaux de traduction d'adresse, etc.;
- filtrage de paquet – On peut utiliser un système de formatage du trafic et/ou un programmeur pour mettre en mémoire tampon les paquets entrants et réordonner leur livraison au matériel de réseautage sous-jacent.

En utilisant ce modèle, l'intelligence contenue dans le pilote de logiciel intermédiaire permet que l'interface sous-jacente avec le processeur G.9954 soit simple et standard, comme celui fondé sur l'interface MII. Les paquets livrés à l'interface MII peuvent être bloqués en toute sécurité s'il n'existe plus de ressources mémoire dans la mesure où les algorithmes de formatage du trafic garantissent qu'aucune donnée ne sera livrée à un débit supérieur au débit négocié des flux actifs.

Le modèle du pilote spécification d'interface de pilote de réseau (NDIS, *network driver interface specification*) se conforme à l'architecture ci-dessus.

Appendice III

Architecture de bout en bout

III.1 Pile de protocoles de G.9954 à G.9954

La Figure III.1 présente une pile de protocoles de bout en bout impliquant deux appareils G.9954 interconnectés. Chaque appareil G.9954 a une adresse MAC de 48 bits. Chaque couche de protocole échange des messages de protocole sur une liaison virtuelle et la couche PHY PNT est connectée physiquement à un réseau téléphonique ou un réseau support câblé.

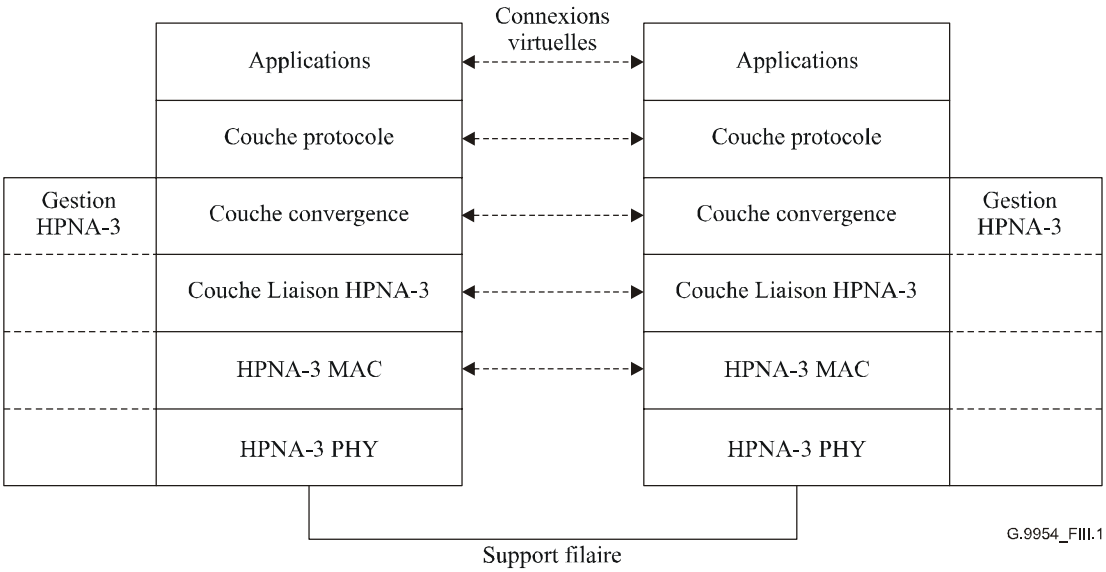

Figure III.1/G.9954 – Piles de protocoles G.9954 communicantes

III.2 Interface Ethernet – PNT

Ethernet est le protocole naturel pour le transport sur un réseau PNT. Le format de trame PNT est une extension du format de trame Ethernet et il inclut la PDU Ethernet toute entière au sein de la trame.

G.9954 peut s'interfacer avec le protocole Ethernet dans les configurations suivantes:

- couche PHY Ethernet (Interface MII);
- pont Ethernet-PNT (Interface MII);
- couches MAC-PHY Ethernet intégrées (carte PCI NIC ou similaire).

Dans la première configuration, G.9954 présente une interface MII et se déguise en couche PHY Ethernet. Cela accepte une connexion virtuelle à un processeur MAC Ethernet externe, comme illustré à la Figure III.2.

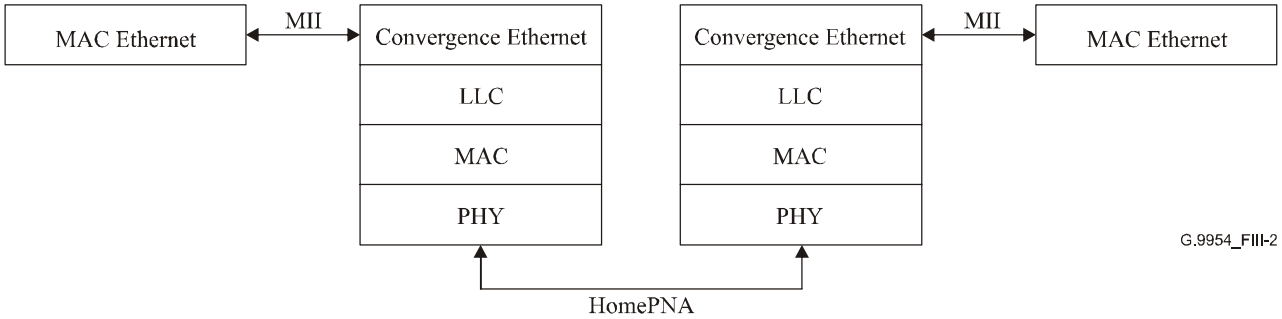

Figure III.2/G.9954 – Emulation de couche PHY Ethernet

Dans une autre configuration, G.9954 fournit une interface MII à un pont MAC Ethernet sur processeur. Cette interface convient pour la connexion à une couche PHY Ethernet dans le but de construire un pont Ethernet-PNT, comme le montre la Figure III.3:

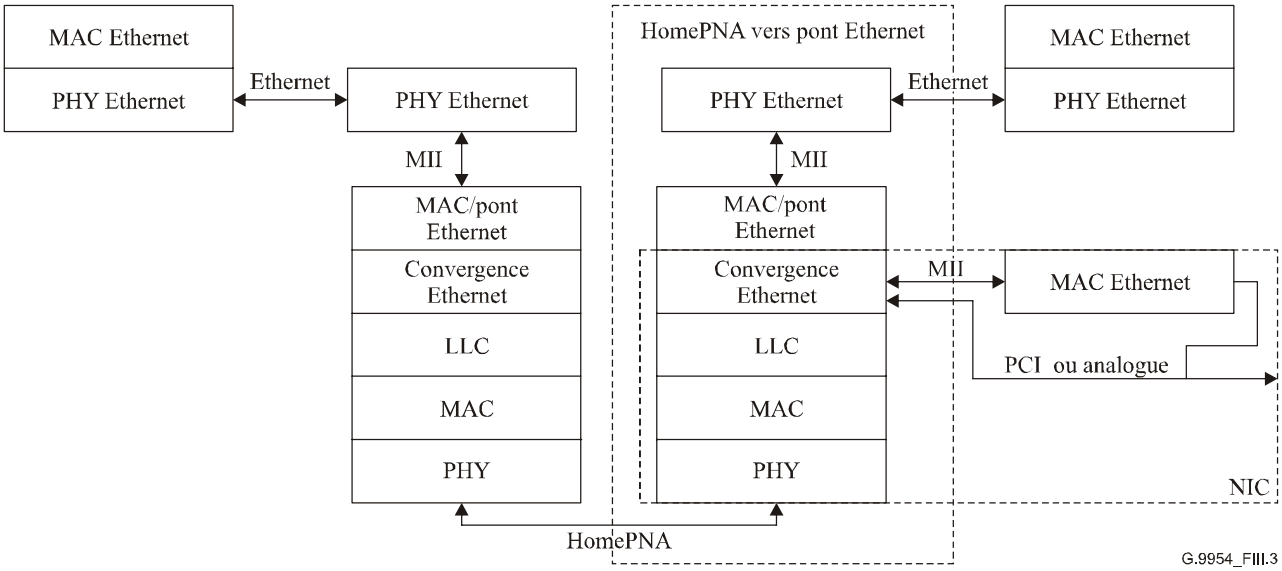

Figure III.3/G.9954 – Pont Ethernet-PNT et applications NIC

III.3 Pile de protocoles d'USB à G.9954

Un adaptateur d'USB à G.9954 (fiche gigogne) est un appareil USB qui fournit une connexion G.9954 au système hôte. En ce sens, il fournit la même capacité qu'une carte d'interface réseau (NIC, *network interface card*) sauf que le PC hôte se connecte au réseau en utilisant le bus USB en série plutôt que le bus PCI.

USB est différent des protocoles réseau, tels qu'Ethernet ou IEEE 1394 en ce sens qu'il n'y a pas de protocole réseau de bout en bout mais plutôt un protocole de bus servant à transférer les données et les informations de contrôle d'un hôte à l'appareil USB. Les transferts de données, une fois arrivés à l'appareil USB, sont retirés de leur enveloppe USB, reconstruits en paquets et transportés sur le réseau PNT. Les enveloppes USB elles-mêmes sont détruites au point d'extrémité de l'appareil USB.

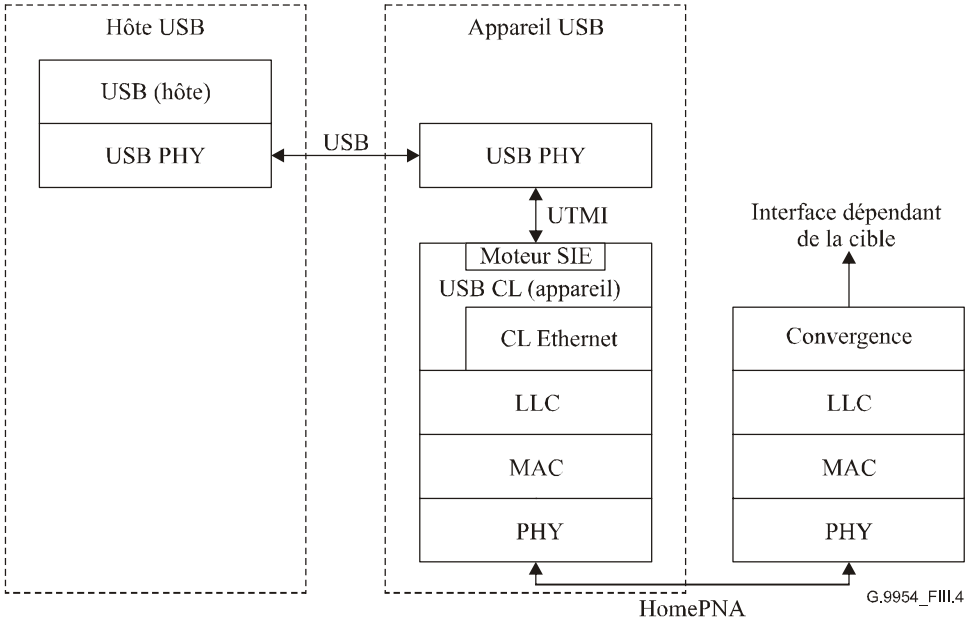

Figure III.4/G.9954 – Adaptateur de protocole USB à G.9954

III.4 Pile de protocoles d'IEEE 1394 à G.9954

Deux architectures incorporant IEEE 1394 et G.9954 sont considérées:

- IEEE 1394 sur G.9954;
- Pont IEEE 1394 – G.9954.

Dans la première architecture, l'appareil G.9954 présente une interface de couche Liaison IEEE 1394 avec la pile de protocoles IEEE 1394, qui permet à des applications IEEE 1394 de fonctionner de façon transparente sur G.9954, comme si elles fonctionnaient sur de vraies couches Liaison et PHY IEEE 1394. Cela implique que la couche convergence de 1394 implémente les primitives standards de couche Liaison IEEE 1394 et transpose ces primitives en fonctions de couche Liaison G.9954. Ceci est illustré par la Figure III.5.

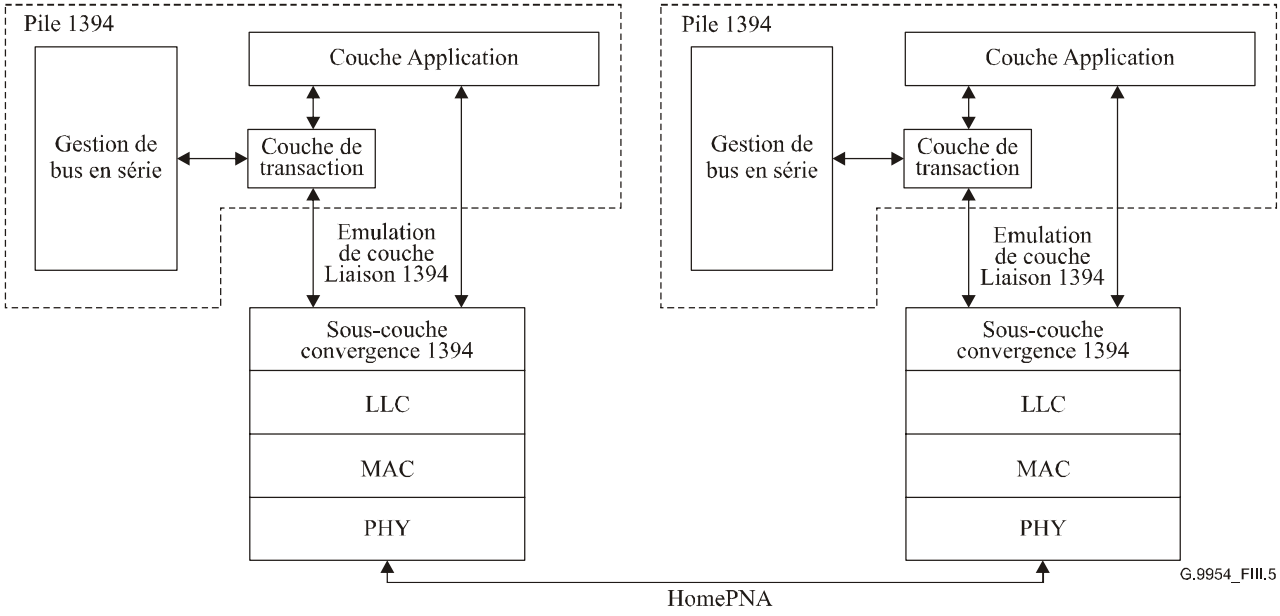

Figure III.5/G.9954 – IEEE 1394 sur G.9954 transparent

La seconde architecture sert à interconnecter un bus IEEE 1394 avec le réseau G.9954 en utilisant la norme P.1394.1 (voir [6]). Dans cette configuration, la couche de convergence G.9954 inclut des fonctions de pontage de IEEE 1394 pour les données asynchrones et isochrones en plus de la couche de convergence IEEE 1394 décrite ci-dessus. Ceci est illustré à la Figure III.6.

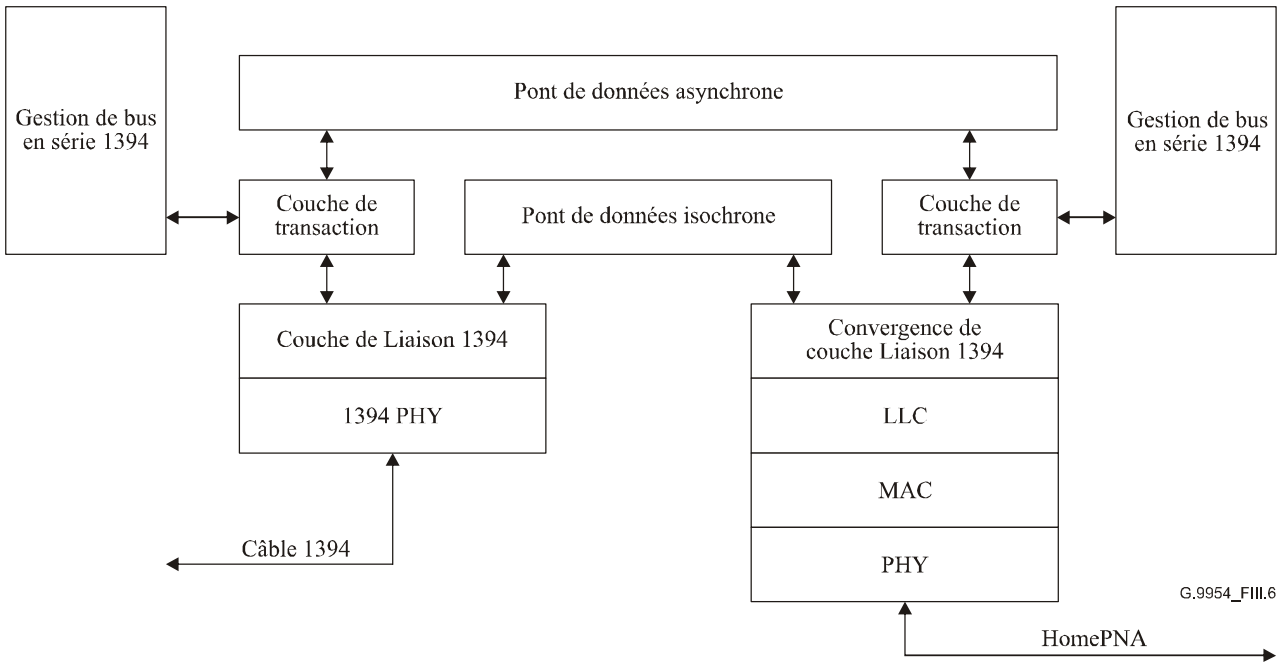

Figure III.6/G.9954 – Pont IEEE 1394 – G.9954

Les détails de ce pont de protocole feront l'objet d'un complément d'étude.

III.5 Pile de protocoles DOCSIS à G.9954

La pile de protocoles pour un pont DOCSIS à G.9954 décrite ci-dessous se fonde sur la spécification DOCSIS pour les modems câble contrôlés par un équipement d'usager définis au [4] et la spécification d'interface radiofréquence DOCSIS [5].

La première spécification suppose un appareil à modem câble connecté à un équipement dans les équipements des locaux client (CPE, *customer premises equipment*) sur une couche PHY Ethernet, USB ou PCI, qui est utilisée pour transporter de façon transparente des trames MAC 802.3 entre le modem câble et les appareils CPE. DOCSIS étant défini comme un système destiné au transport transparent du trafic IP sur le câble, l'interface suppose que le pontage entre DOCSIS et les autres protocoles, tels que G.9954, est effectué au niveau de la trame MAC Ethernet/802.3. Ceci est illustré à la Figure III.7.

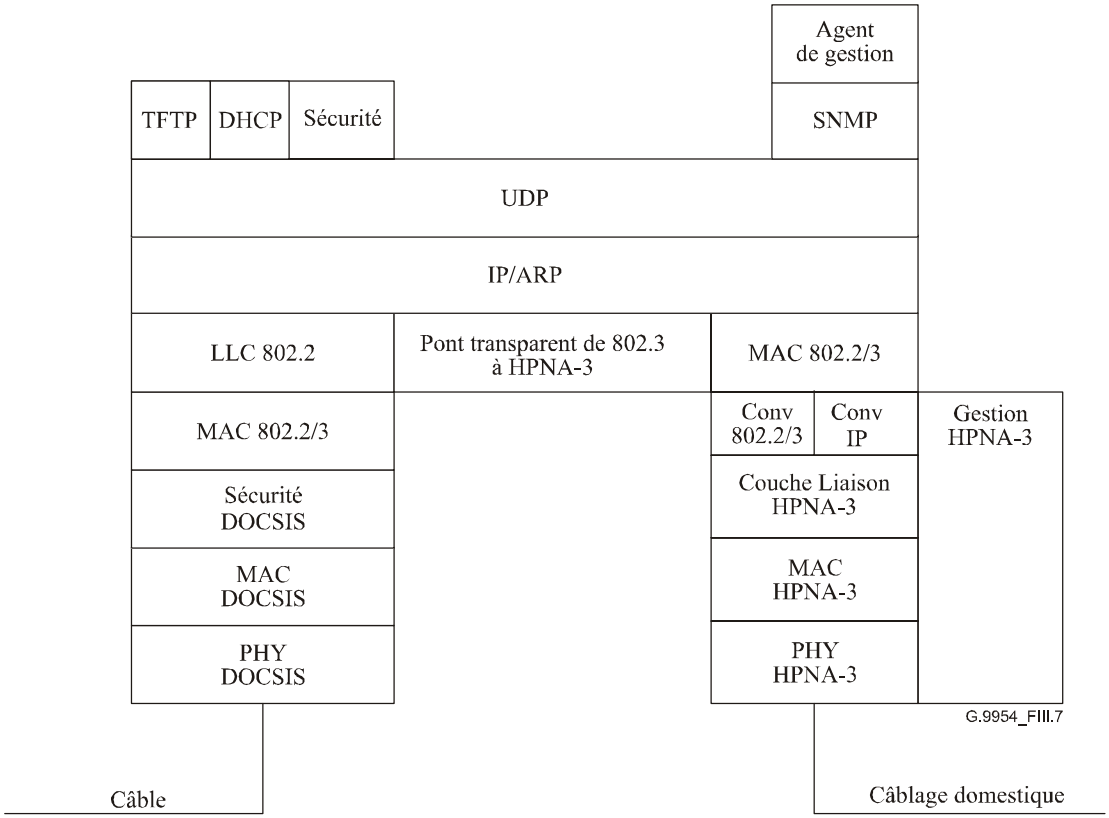

Figure III.7/G.9954 – Pile de protocoles DOCSIS à G.9954

Une configuration supplémentaire implique une interface directe à la couche MAC de DOCSIS. C'est une interface de niveau inférieur à l'interface Ethernet/802.3 qui fournit l'accès à des éléments dans l'interface de données MAC de DOCSIS, tels que la SYNCHRONISATION D'HORLOGE ou la SYNCHRONISATION D'ALLOCATION AMONT du maître, qui peuvent être utilisés pour synchroniser le réseau domestique G.9954 au réseau DOCSIS externe. Ceci est illustré à la Figure III.8.

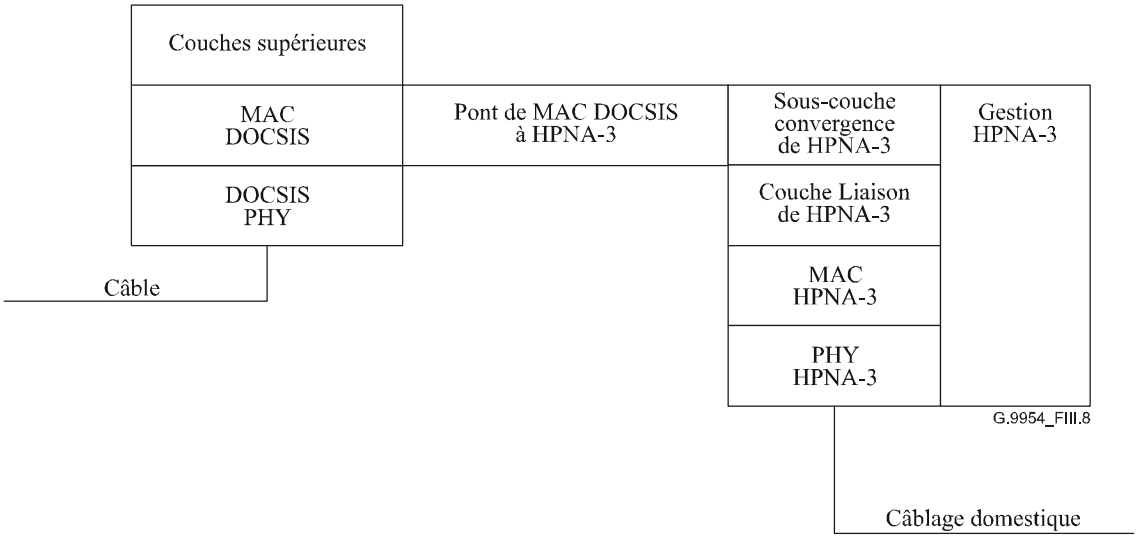

Figure III.8/G.9954 – Pont de DOCSIS à G.9954

Appendice IV

Synchronisation du réseau

L'exigence de prise en charge de la synchronisation avec les protocoles et réseaux extérieurs découle des types de services qui sont livrés à domicile et des protocoles et technologies de réseautage utilisés pour transporter ces services. Etant donné que certains de ces services, comme la voix, l'audio et la vidéo sont isochrones par nature et sensibles au délai de latence et à la gigue introduits par les réseaux de connexion, autant qu'aux différences de fréquences d'horloge entre éléments de source et de destination, pour préserver la qualité des services fournis et l'étendre au sein du réseau domestique, la technologie de réseautage domestique devrait fournir la capacité de synchronisation des réseaux domestique et externe.

Le protocole G.9954 proposé accepte plusieurs mécanismes incorporés qui, lorsqu'ils sont utilisés ensemble, prennent en charge la synchronisation de bout en bout des réseaux domestiques avec un réseau et des services externes synchrones. Ces mécanismes et la façon dont ils interopèrent sont décrits dans les paragraphes qui suivent.

IV.1 Exigences de synchronisation

Pour la synchronisation des éléments connectés au réseau domestique avec une source ou des services externes, les exigences suivantes doivent être respectées:

- synchronisation des débits d'échantillonnage des données – Les fréquences d'horloge utilisées pour l'échantillonnage des données de source et de destination d'un service doivent être synchronisées de façon à préserver les données contre le surdébit et le sous-débit;
- synchronisation d'horloge de référence – La synchronisation des horloges à une référence de temps commune peut être nécessaire pour garder les références à l'horodatage qui apparaissent dans les données échantillonnées ou dans les messages de gestion de protocole;
- synchronisation pour allouer des intervalles de temps et de la bande passante – Pour réduire le délai de latence et la gigue introduits par le réseau domestique, il est nécessaire de synchroniser l'allocation d'intervalles de temps du réseau domestique avec celle du réseau

externe utilisée pour la livraison du service. L'exigence de synchronisation est que les données livrées à un réseau ne devraient attendre qu'un minimum de temps avant d'obtenir l'accès à l'autre réseau;

- qualité de service – Les mécanismes de qualité de service dans le réseau domestique sont exigés pour garantir l'accès en temps utile au réseau domestique en accord avec les contraintes de qualité de service du service fourni;
- connaissance des protocoles – Afin de se synchroniser avec les protocoles externes, il est nécessaire d'avoir une connaissance spécifique des protocoles des éléments utilisés pour la synchronisation. Par exemple, la connaissance des services de synchronisation d'horloge dans IEEE 1394 ou la synchronisation horaire et les informations d'allocation d'intervalles de temps dans DOCSIS.

IV.2 Modèle de synchronisation de réseau

Les mécanismes utilisés pour prendre en charge la synchronisation de bout en bout à des réseaux externes sont illustrés à la Figure IV.1.

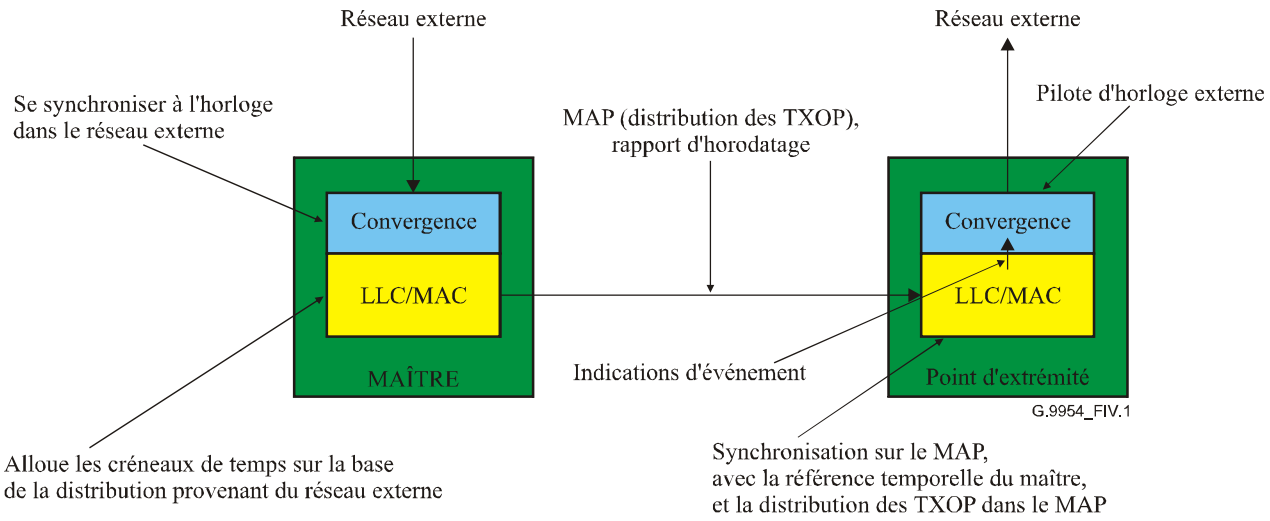

Figure IV.1/G.9954 – Modèle de synchronisation de réseau

Le modèle décrit un réseau fondé sur un maître connecté à un réseau externe qui fournit des services synchrones, tels que la téléphonie ou des services vidéo, et un ou plusieurs appareils de point d'extrémité (ESCLAVE) connectés au maître sur le réseau domestique.

Dans ce modèle, la couche convergence du côté du maître a une connaissance spécifique du protocole du réseau externe connecté et utilise cette connaissance pour déduire une référence d'horloge à partir du protocole externe. Cela peut impliquer le traitement de messages spécifiques du protocole, tels que les messages de synchronisation temporelle (SYNC) DOCSIS ou l'accès à des registres spécifiques du protocole qui mettent en œuvre les services de synchronisation d'horloge, comme définis dans la norme IEEE 1394. Ces informations de temporisation peuvent être utilisées pour "piloter" l'horloge système G.9954 et synchroniser sa référence temporelle sur celle du réseau externe. Cela permet d'avoir des références horaires déduites du réseau externe, comme les informations d'horodatage, aisément interprétées dans le contexte du réseau domestique.

On demande aussi à la couche convergence de reconnaître l'existence et la distribution des allocations de bande passante, des intervalles de temps ou des canaux associés au transport de service et le mappage de ces services dans l'établissement des flux associés sur le réseau domestique. Les messages de protocole de signalisation, déduits du réseau extérieur, et associés à l'établissement des services livrés, peuvent être utilisés pour calculer les paramètres de qualité de

service pour le service sur le réseau domestique. L'établissement des flux sur le réseau domestique, par la couche convergence, sera effectué en utilisant les informations de qualité de service et de distribution déduites directement du réseau externe. Plus précisément, la couche convergence va diriger le gestionnaire de bande passante dans la pile G.9954, pour allouer les TXOP à un moment dans le cycle MAC synchrone qui est étroitement synchronisé avec les allocations de bande passante sur le réseau externe. Ceci sert à contrôler le délai de latence et la gigue du service.

Une fois le maître synchronisé avec le réseau externe, et les intervalles de temps (les TXOP) synchronisés avec les arrivées de données provenant du réseau externe, la synchronisation des appareils de point d'extrémité suit naturellement d'après le protocole synchrone défini pour G.9954. Les points d'extrémité peuvent se synchroniser avec la référence d'horloge du maître (synchronisée) au moyen de sa distribution de rapports d'horodatage périodiques ou des informations contenues dans le message MAP périodique. De plus, les points d'extrémité se synchronisent naturellement sur la distribution des TXOP allouées décrites dans le MAP. Le mécanisme d'indication d'événement peut être utilisé pour notifier à la couche convergence au point d'extrémité les informations de distribution des TXOP attendues ou allouées associées à un service. Pour les flux qui ont leur fanion d'indication d'événement d'intervalle de temps activé, la couche MAC de G.9954 va notifier (en utilisant l'interruption ou des mécanismes similaires) à la couche convergence supérieure l'arrivée prévue des allocations d'intervalle de temps (TXOP) ou de données de service. Cette indication peut être utilisée pour piloter une horloge au point d'extrémité et/ou piloter le débit d'échantillonnage des données au point d'extrémité.

Il est toujours possible de se synchroniser à un réseau externe sans se synchroniser à des références d'horloge ou des horloges d'échantillonnage. Si les horloges du maître et du réseau externe ne sont pas synchronisées, un service peut rencontrer un DELAI DE TRANSMISSION MAXIMAL qui est fonction de la longueur du cycle MAC qui tient compte du plus mauvais cas de période d'acquisition et de délai de latence d'accès au réseau. De plus, un manque de synchronisation de l'heure d'arrivée des données (l'échantillon) et de la TXOP allouée sur le réseau domestique peut provoquer le comportement bien connu de délai de latence/gigue en dent de scie comme illustré à la Figure IV.2.

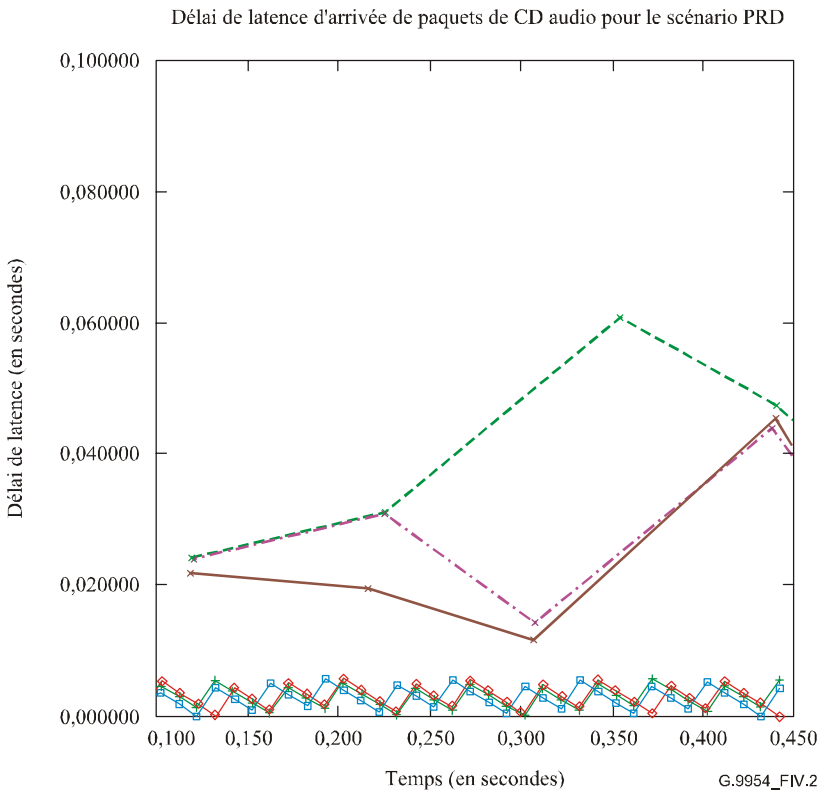

Figure IV.2/G.9954 – Comportement de délai de latence/gigue en dent de scie

IV.3 Résumé des mécanismes de synchronisation

Le Tableau IV.1 résume l'ensemble des mécanismes de synchronisation pris en charge par le protocole G.9954 proposé.

Tableau IV.1/G.9954 – Résumé des mécanismes de synchronisation

Mécanisme de synchronisation	Objet
Protocole synchrone	Accepte la synchronisation avec d'autres protocoles synchrones. Synchronisation de point d'extrémité avec le maître.
Synchronisation d'horloge	Synchronise les horloges à une référence de temps commune. Synchronise les débits d'échantillon.
Indication de cycle MAC	Synchronise les réseaux ou protocoles externes avec le cycle MAC.
Indications d'événement d'intervalle de temps	Synchronise sur la distribution des TXOP prévues en utilisant les informations du MAP.
Données de flux d'horodatage	Données d'horodatage utilisant la référence d'horloge du réseau.
Contrôle d'allocation d'intervalle de temps	Synchronise l'allocation d'intervalles de temps sur le réseau domestique avec les attributions d'intervalles de temps du réseau externe.
Couche de convergence de protocole	Accepte un traitement spécifique du protocole des méthodes de synchronisation provenant des réseaux externes.

Appendice V

Prise en charge des flux à débit binaire variable (VBR)

Les flux à débit binaire variable (VBR, *variable bit rate*) peuvent être traités à l'aide des différentes stratégies d'allocation de bande passante suivantes:

- demande de bande passante cycle par cycle;
- UGS + Opportunité de transmission partagée;
- UGS + Demandes de bande passante explicites;
- UGS + Bande passante en réserve.

V.1 Demande de bande passante cycle par cycle

Cette méthode exige qu'une demande RTS explicite soit formulée à chaque cycle. La quantité de bande passante demandée à chaque cycle est variable selon le comportement VBR du flux de service.

La méthode d'allocation de bande passante, bien que simple, peut exiger un contrôle strict du temps réel afin de s'assurer qu'un nœud de point d'extrémité ne viole pas les caractéristiques de débit du trafic et que les contraintes de qualité de service peuvent être satisfaites.

V.2 UGS + Opportunité de transmission partagée

La méthode suivante convient lorsque plusieurs flux VBR sont actifs en même temps. Elle est la plus appropriée lorsque la source de tous les flux VBR est la même station – c'est-à-dire qu'il n'y a pas de concurrence entre les flux de service VBR, bien qu'elle puisse aussi être utilisée lorsque les flux VBR proviennent de différentes stations.

Cette méthode suppose qu'un groupe de flux VBR va partager la même opportunité de transmission. La TXOP est allouée comme pour les types de service UGS (c'est-à-dire qu'il n'est pas exigé de RTS explicite), cependant la quantité de bande passante allouée est calculée comme étant le débit binaire moyen cumulé de tous les flux qui partagent la même TXOP.

La méthode repose sur la nature variable des flux VBR. Elle suppose que les flux VBR N'AURONT PAS des valeurs de crête au même instant, mais plutôt que les demandes de bande passante de tous les flux VBR vont égaler approximativement leur moyenne cumulée.

Cette méthode est illustrée à la Figure V.1.

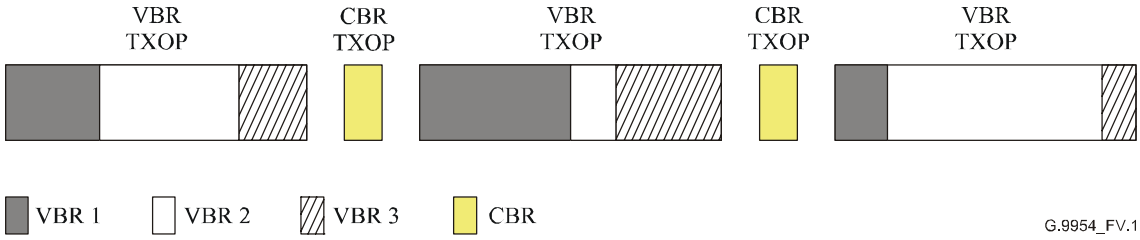

Figure V.1/G.9954 – Allocation de bande passante en débit binaire variable (VBR)

V.3 UGS + Demande de bande passante explicite

La méthode suivante (illustrée dans la Figure V.2) est une combinaison des méthodes UGS et demande explicite de bande passante. Un flux VBR est traité comme un flux CBR qui peut occasionnellement avoir besoin d'un peu plus de bande passante pour traiter les fluctuations du

trafic. Le débit de donnée basique demandé pour le flux VBR se fonde sur la contrainte de débit binaire moyen du flux.

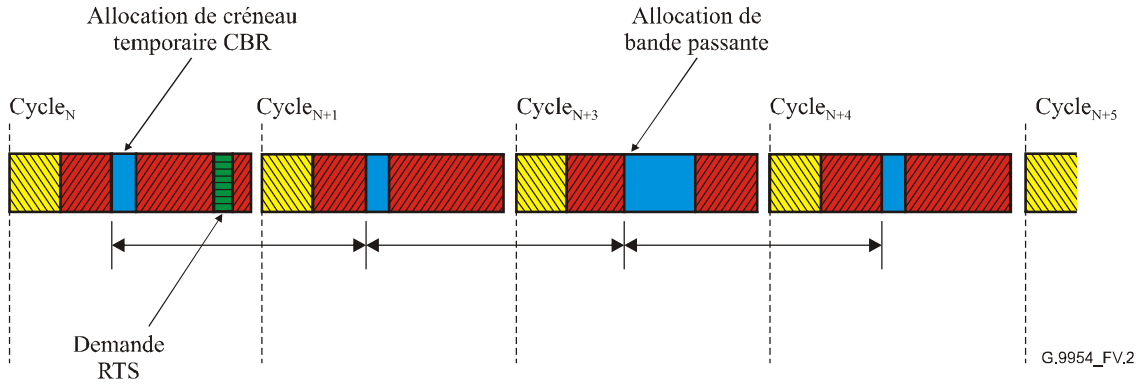

Figure V.2/G.9954 – VBR utilisant CBR + Demandes de bande passante explicites

L'allocation de TXOP de taille fixe pour un flux VBR met effectivement le trafic de flux en forme de débit binaire constant (CBR, *constant bit rate*). Si le flux a suffisamment de mémoire tampon associée pour traiter la variabilité du trafic, cela devrait être suffisant pour traiter la nature variable du flux sans demandes explicites de bande passante. Cependant, si un espace de mémoire tampon suffisant N'EST PAS disponible, un nœud de point d'extrémité peut demander explicitement de la bande passante supplémentaire afin de soulager temporairement l'arriéré de trafic.

V.4 UGS + Bande passante en réserve

Une autre méthode de traitement des services VBR comporte l'utilisation de la bande passante en réserve (non allouée) pour traiter les rafales de trafic qui excèdent le débit de trafic défini par les TXOP de CBR allouées pour le flux. Ceci est illustré à la Figure V.3.

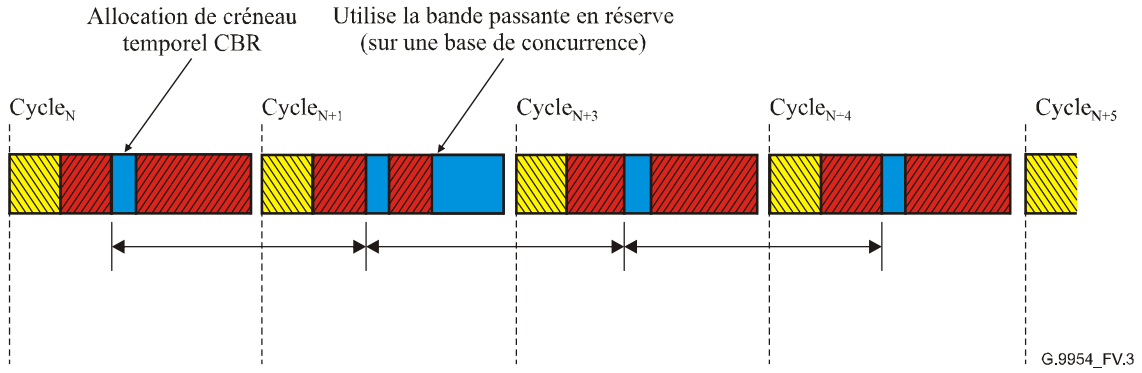

Figure V.3/G.9954 – VBR utilisant CBR + Bande passante en réserve

De la bande passante supplémentaire peut aussi être allouée aux TXOP d'un service VBR de telle sorte qu'il y ait un temps supplémentaire du support qui soit suffisant pour la transmission d'au moins un paquet (supplémentaire) complet. En utilisant cette méthode, le programmeur du maître devrait allouer un peu plus que les exigences du débit binaire moyen, et compter sur la bande passante supplémentaire à utiliser de façon occasionnelle pour vider les files d'attente du trafic.

Appendice VI

Paramètres de qualité de service (QS)

La présente Recommandation prend en charge tous les services décrits au Tableau VI.1. En plus, la présente Recommandation devrait simultanément prendre en charge tous les services du Tableau VI.2.

Tableau VI.1/G.9954 – Exigences de qualité de service des services standards[1]

Service	Priorité relative	Débit de charge utile MAC (par flux)	Définition de charge utile	Flux simultanés minimaux	Taux d'erreurs binaires maximaux	Délai de latence maximal	Gigue maximale
Services vocaux							
Téléphonie vocale bande étroite de haute qualité	Haute	32-64 kbit/s	Charge utile vocale[a)]	8[b)]	1e-6	5 ms nominal; 10 ms max	±5 ms
Téléphonie vocale bande étroite de qualité inférieure	Faible à moyenne	6-16 kbit/s	Charge utile vocale	8	1e-6	10 ms nominal; 30 ms max	±10 ms
Service paquet sensible au temps (par exemple, Visioconférence)	Haute	4-13 kbit/s pour la voix, 0,032-1,5 Mbit/s pour audio/vidéo	Charge utile vocale pour la voix, charge utile MPEG-TS[c)] pour audio/vidéo	4 (2 conver-sations 2 flux par conver-sation)	1e-8	5 ms nominal; 10 ms max pour services duplex	±5 ms
Services de données à haut débit							
Service au mieux	Faible	Jusqu'au maximum du débit de couche Physique	Paquet de données[d)]	N/A	1e-6	500 ms	N/A
Service à QS (SLA[e)])	Moyenne à haute	10 Mbit/s	Paquet de données	2	1e-8	10 ms nominal; 30 ms max	±10 ms
Flux sur support IP							
Audio standard	Faible à moyenne	96-256 kbit/s	MPEG-TS	3	1e-6	200 ms	±20 ms
Audio qualité CD	Moyenne	192-256 kbit/s (stéréo)	MPEG-TS	3	1e-8	100 ms	±10 ms
Flux vidéo de qualité inférieure	Moyenne à haute	64-500 kbit/s	MPEG-TS	3	1e-6	100 ms	±10 ms
Home Cinéma Audio[f)]	Haute	6 Mbit/s	MPEG-TS	1	1e-8	100 ms	±10 ms
Flux vidéo de qualité supérieure	Haute	1,5-10 Mbit/s	MPEG-TS	1	1e-8	50 ms	±10 ms

[1] Source: CableLabs "Exigences de réseautage domestique pour les services fondés sur le câble", Version du fabricant 1.0 datée du 9 juin 2000. Copyright Cable Television Laboratories, Inc. 2001. Tous droits réservés. Reproduction sur permission (excepté comme noté).

Tableau VI.1/G.9954 – Exigences de qualité de service des services standards[1]

Service	Priorité relative	Débit de charge utile MAC (par flux)	Définition de charge utile	Flux simultanés minimaux	Taux d'erreurs binaires maximaux	Délai de latence maximal	Gigue maximale
Vidéo Disque numérique[g)]		3,0-20 Mbit/s	MPEG-TS	2	1e-8	100 ms	±10 ms
Visio qualité diffusion							
TV standard	Haute	3-7 Mbit/s		2	1e-8	90 ms nominal	Interpaquet ±10 ms
TVHD	Haute	19,68 Mbit/s		1	1e-8	90 ms nominal	Interpaquet ±10 ms

a) Charge utile vocale: taille variable selon le codec, en considérant le budget de délai de latence de bout en bout. Par exemple, le codage de Loi µ de G.711 spécifie des trames de 4 échantillons où chaque échantillon audio est codé comme une valeur de 8 bits (c'est-à-dire 32 bits).

b) Le protocole développé pour cette technologie doit être capable de prendre en charge un minimum de 4 appareils décrochés concurrents. Avec des débits de connexion réseau supérieurs ou égaux à 10Base-T équivalent, le protocole doit accepter 8 appareils décrochés concurrents.

c) MPEG-TS: une charge utile Audio/Video suppose un flux de transport (TS, *transport stream*) MPEG de 188 octets.

d) Paquet de données: charge utile Ethernet incluant les en-têtes TCP/IP mais excluant l'en-tête Ethernet et le CRC Ethernet.

e) SLA utilisé dans ce contexte signifie "*service level agreement*" (accord sur le niveau de service) et se réfère à une qualité de service minimale que le service s'engage à recevoir. Dans ce contexte, le SLA est pris dans le sens de "Engagement de débit d'informations".

f) Le Home Cinéma Audio comporte 5,1 canaux audio simultanés. Noter que cela n'est pas inclus dans le document CableLabs. On suppose que le format AC-3 Dolby numérique est multiplexé en un TS MPEG-2.

g) Le Vidéo disque numérique englobe deux flux SDTV. Noter que ceci n'est pas inclus dans le document de CableLabs.

Tableau VI.2/G.9954 – Exigences supplémentaires de qualité de service pour les services standards

Service	Priorité relative	Débit de charge utile MAC (par flux)	Flux simultanés minimaux	Taux d'erreurs binaires maximaux	Délai de latence maximal	Gigue maximale
Services vocaux						
Téléphonie vocale bande étroite de haute qualité	Haute	32-64 kbit/s	6 (3 conversations, 2 flux par conversation)	1e-6	5 ms nominal; 10 ms max	±5 ms
Service paquet sensible au temps (par exemple, Visioconférence)	Haute	4-13 kbit/s pour la voix, 0,032-1,5 Mbit/s pour audio/vidéo	2 (1 conversation, 2 flux par conversation)	1e-8	5 ms nominal; 10 ms max pour services duplex	±5 ms
Services de données à haut débit						
Service au mieux	Faible	Jusqu'au débit maximal de la couche Physique	N/A	1e-6	500 ms	N/A

Tableau VI.2/G.9954 – Exigences supplémentaires de qualité de service pour les services standards

Service	Priorité relative	Débit de charge utile MAC (par flux)	Flux simultanés minimaux	Taux d'erreurs binaires maximaux	Délai de latence maximal	Gigue maximale
Flux sur support IP						
Audio qualité CD	Moyenne	192-256 kbit/s (stéréo)	3	1e-8	100 ms	±10 ms
Toute combinaison de deux flux suivants:						
Flux vidéo de qualité supérieure	Haute	1,5-10 Mbit/s	1	1e-8	50 ms	±10 ms
Home Cinéma Audio	Haute	6 Mbit/s	1	1e-8	100 ms	±10 ms
Vidé Disque numérique		3,0-20 Mbit/s	1	1e-8	100 ms	±10 ms
Vidéo de qualité diffusion						
TV standard	Haute	3-7 Mbit/s	2	1e-8	90 ms nominal	Interpaquet ±10 ms
TVHD	Haute	19,68 Mbit/s	1	1e-8	90 ms nominal	Interpaquet ±10 ms

Appendice VII

Profils d'essai d'applications simultanées

Le profil d'essai 1 décrit un réseau domestique comportant une passerelle domestique (RG, *residential gateway*) qui donne accès à la téléphonie et aux services Internet et une seconde passerelle ou serveur de source qui donne accès aux services se rapportant à la vidéo. La passerelle RG et éventuellement le serveur vidéo/TV sont connectés aux canaux haut débit. De plus, le profil de réseau domestique comporte les clients qui consomment des services haut débit ainsi que ceux qui interagissent directement avec des homologues sur le même réseau domestique.

Les exigences de débit du réseau pour le profil d'essai 1 sont décrites au Tableau VII.1. On suppose que le réseau est configuré en étoile, avec deux mètres de câble reliés à chaque branche.

Tableau VII.1/G.9954 – Exigences de débit du réseau

Service	Quantité	Débit (Mbit/s)	Exigence de débit
Voix HQ	6	0,064	0,384
Visioconférence	2	1,5	3
Au mieux	1	Jusqu'à la limite physique	Jusqu'à la limite physique
CD	3	0,256	0,768
TV standard	2	3	6
TVHD	1	19,68	19,68
Home Cinéma	2	5,76	11,52
TOTAL			41,352

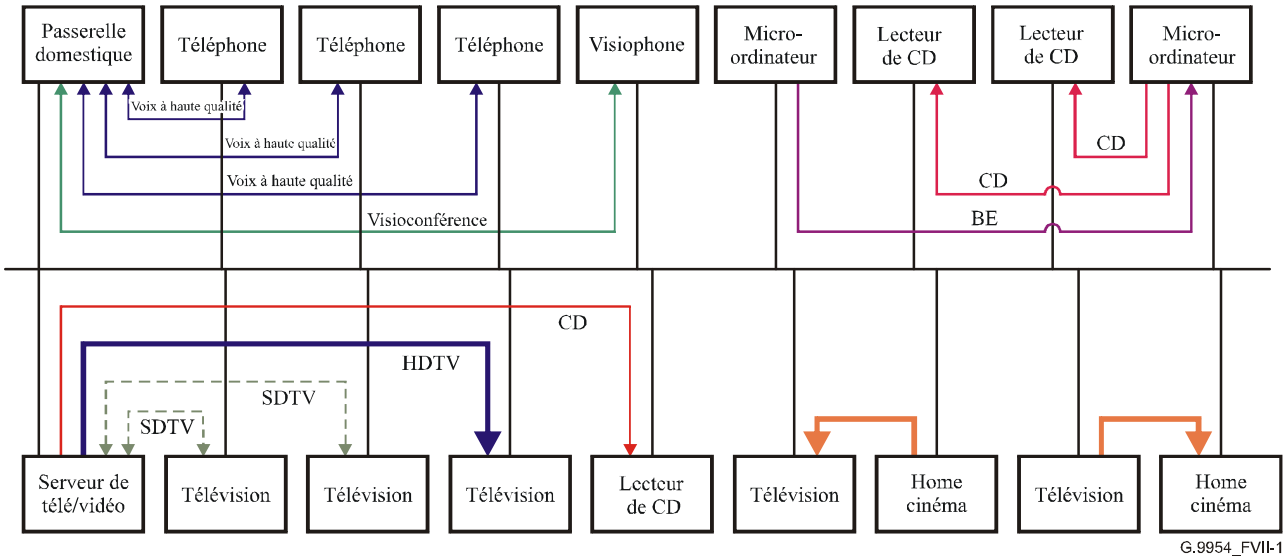

Figure VII.1/G.9954 – Profil d'essai 1

Appendice VIII

Lignes directrices pour la planification de l'accès au support

La planification de l'accès au support est une activité de programmation dont le but est de produire un Plan d'accès au support (MAP, *media access plan*) qui satisfasse aux contraintes de qualité de service de tous les flux en concurrence dans le réseau. L'algorithme de programmation s'exécute entièrement dans le nœud maître et prend en considération la bande passante disponible sur le support et les contraintes de qualité de service de la totalité du réseau.

Bien que la spécification des algorithmes de programmation employés par un maître G.9954 soit en dehors du domaine d'application de la présente Recommandation, on suppose qu'un programmeur de maître G.9954 prend en charge l'ensemble de capacités fonctionnelles de base suivantes:

- gestion des ressources;
- allocation et affectation des ressources du support;
- gestion de la taille des rafales;
- gestion de la longueur du cycle MAC;
- régulation et mise en forme du trafic;
- contrôle du délai de latence et de la gigue;
- affectation des stratégies de gestion des collisions;
- gestion des demandes de bande passante;
- génération des MAP.

VIII.1 Gestion des ressources

Le maître devrait gérer les informations d'état sur l'allocation des ressources du support dans le réseau domestique et entretenir un plan MAP d'allocation qui décrive les ressources du support qui sont allouées et celles qui sont libres ainsi que leurs tailles. Le plan MAP d'allocation est utilisé par la fonction d'allocation de bande passante lors du contrôle d'admission pour les demandes de service.

VIII.2 Allocation et affectation des ressources du support

Connaissant la disponibilité des ressources suffisantes du support pour servir une demande de bande passante, le maître devrait allouer des TXOP aux flux spécifiques. La TXOP allouée est ensuite décrite dans le MAP.

VIII.3 Gestion de la taille des rafales

Pour utiliser plus efficacement le support et réduire les redondances de protocole, il est souhaitable d'agréger les paquets de niveau supérieur provenant d'une seule source ou flux en une seule rafale de couche PHY (trame). La longueur de la rafale dépend d'un certain nombre de facteurs parmi lesquels la longueur de la TXOP, les exigences de délai de latence du flux, les caractéristiques de BER, etc.

Le programmeur du maître devrait essayer de concentrer les TXOP allouées à la même source de telle sorte qu'un point d'extrémité puisse maximiser la longueur des rafales tout en satisfaisant aux contraintes de délai de latence et de gigue de la qualité de service du flux.

VIII.4 Gestion de la longueur du cycle MAC

Chaque trame de MAP définit implicitement la durée (en temps) du Plan d'accès au support. Cela donne l'infrastructure de prise en charge des cycles MAC qui sont de longueur variable et qui peuvent même changer de façon dynamique d'un cycle à l'autre.

Le programmeur du maître est responsable du choix de la taille appropriée du cycle MAC. Les lignes directrices utilisées dans le processus de choix exigent que le programmeur choisisse une longueur de cycle qui équilibre les exigences de périodicité des flux actifs avec les considérations de redondance de protocole introduites par la transmission de la trame de MAP.

VIII.5 Régulation de mise en forme du trafic

Pour assurer la conformité d'un flux à ses paramètres de trafic négociés, le programmeur du maître devrait réguler et mettre en forme le trafic de telle sorte que le réseau ne souffre pas dans le cas où une source de trafic commence à générer du trafic d'une façon non conforme. La régulation et la mise en forme du trafic est faite en allouant des TXOP d'une façon qui satisfasse aux spécifications de trafic.

Pour un nœud de point d'extrémité G.9954 qui attribue des paquets aux TXOP conformément à la description du MAP, cela va naturellement formater le trafic des points d'extrémité dans la forme prévue par le maître. Cela a pour effet de réduire la complexité potentielle des nœuds de point d'extrémité en centralisant les algorithmes de régulation et de mise en forme du trafic chez le maître tout en garantissant aussi que les nœuds de point d'extrémité ne génèrent pas de trafic d'une façon qui viole les accords négociés.

VIII.6 Contrôle du délai de latence et de la gigue

Le programmeur du maître est responsable de la réalisation du contrôle de délai de latence et de gigue en garantissant que les TXOP sont allouées aux flux à la fréquence, taille et intervalle requis, qui leur permettent de satisfaire aux exigences de délai de latence et de gigue du flux.

Considérons deux exemples d'allocations de TXOP dans le temps (Figure VIII.1), par rapport à l'instant d'arrivée des paquets provenant de la source d'entrée. Dans l'exemple l, les TXOP sont allouées de telle sorte qu'elles produisent une gigue zéro. Dans l'exemple 2, la variation du délai de latence cause de la gigue comme le montre le graphique latence/gigue de la Figure VIII.2.

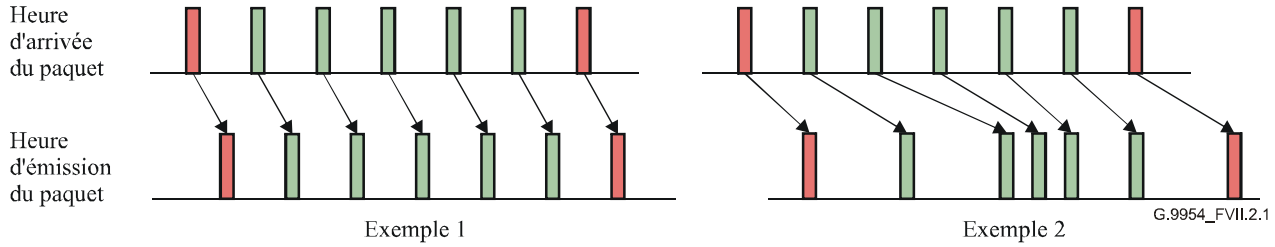

Figure VIII.1/G.9954 – Exemples de délai de latence/gigue

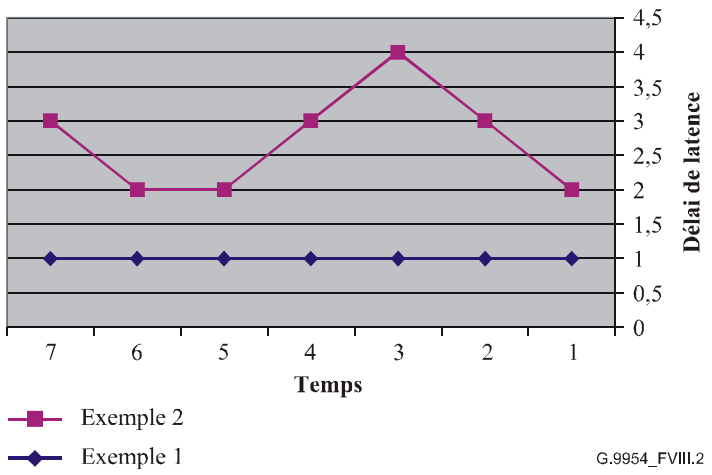

Figure VIII.2/G.9954 – Graphique de délai de latence/gigue

VIII.7 Génération du plan MAP

La programmation de l'accès au support par le maître produit une trame de MAP. Le maître est responsable de la génération périodique d'une trame de contrôle MAP contenant les résultats des processus et décisions décrites ci-dessus.

BIBLIOGRAPHIE

[4] Data-Over-Cable Service Interface Specifications – *Cable Modem to Customer Premise Equipment Interface Specification SP-CMCI-I05-001215, July 14, 2000. (Spécification d'interface de service de données sur le câble – Spécification d'interface entre modem câble et équipement de locaux d'abonné SP-CMCI-I05-001215, 14 juillet 2000)*

[5] Data-Over-Cable Service Interface Specifications – *Radio Frequency Interface Specification, SP-RFIv1.1-I06-001215, December 15, 2000. (Spécifications d'interface de service de données sur le câble – Spécification d'interface radio-fréquence SP-RFIv1.1-I06-001212, 15 décembre 2000)*

[6] P1394.1 *Draft Standard for High Performance Serial Bus Bridges, 0.16, March 29, 2001. (Projet de norme pour les ponts de bus en série à hautes performances, 0.16, 29 mars 2001)*

SÉRIES DES RECOMMANDATIONS UIT-T

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

Imprimé en Suisse
Genève, 2006