



UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

UIT-T

SECTEUR DE LA NORMALISATION
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS
DE L'UIT

G.989.2

(11/2001)

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

Sections numériques et systèmes de lignes numériques –
Systèmes de transmission par ligne optique pour les
réseaux locaux et les réseaux d'accès

**Émetteurs-récepteurs de réseautage sur
lignes téléphoniques – Prescriptions de
format de charge utile et de couche Liaison**

Recommandation UIT-T G.989.2

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 RADIODÉPHONIE ET DE LA TÉLÉPHONIE SUR LIGNES EQUIPEMENTS DE TEST	G.450–G.499 G.500–G.599
CARACTÉRISTIQUES DES SUPPORTS DE TRANSMISSION EQUIPEMENTS TERMINAUX NUMÉRIQUES	G.600–G.699 G.700–G.799
RÉSEAUX NUMÉRIQUES	G.800–G.899
SECTIONS NUMÉRIQUES ET SYSTÈMES DE LIGNES NUMÉRIQUES	G.900–G.999
Généralités	G.900–G.909
Paramètres pour les systèmes à câbles optiques	G.910–G.919
Sections numériques à débits hiérarchisés multiples de 2048 kbit/s	G.920–G.929
Systèmes numériques de transmission par ligne à débits non hiérarchisés	G.930–G.939
Systèmes de transmission numérique par ligne à supports MRF	G.940–G.949
Systèmes numériques de transmission par ligne	G.950–G.959
Section numérique et systèmes de transmission numériques pour l'accès usager du RNIS	G.960–G.969
Systèmes sous-marins à câbles optiques	G.970–G.979
Systèmes de transmission par ligne optique pour les réseaux locaux et les réseaux d'accès	G.980–G.989
Réseaux d'accès	G.990–G.999
QUALITÉ DE SERVICE ET DE TRANSMISSION	G.1000–G.1999
CARACTÉRISTIQUES DES SUPPORTS DE TRANSMISSION	G.6000–G.6999
EQUIPEMENTS TERMINAUX NUMÉRIQUES	G.7000–G.7999
RÉSEAUX NUMÉRIQUES	G.8000–G.8999

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

Recommandation UIT-T G.989.2

Emetteurs-récepteurs de réseautage sur lignes téléphoniques – Prescriptions de format de charge utile et de couche Liaison

Résumé

La présente Recommandation spécifie un format de capacité utile et des procédures de couche Liaison de données pour dispositifs émetteurs-récepteurs de réseau téléphonique (PNT, *phoneline networking transceiver*). Elle part du principe que l'on utilise les procédures de commande d'accès au support (MAC, *medium access control*) et d'encapsulation définies dans la Rec. UIT-T G.989.1.

Les exigences contenues dans la présente Recommandation visent à assurer l'interopérabilité de dispositifs. Elles sont rédigées du point de vue d'un émetteur conforme, bien que certaines exigences de performance minimale soient établies pour les récepteurs.

Source

La Recommandation G.989.2 de l'UIT-T, élaborée par la Commission d'études 15 (2001-2004) de l'UIT-T, a été approuvée le 29 novembre 2001 selon la procédure définie dans la Résolution 1 de l'AMNT.

AVANT-PROPOS

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

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

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

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

NOTE

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

DROITS DE PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

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

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

© UIT 2002

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

TABLE DES MATIÈRES

	Page
1	Domaine d'application 1
2	Références normatives 1
3	Définitions 2
4	Abréviations 2
5	Spécification de la couche Physique 3
5.1	Aperçu général 3
5.2	Modulation 4
5.2.1	Fréquence porteuse et tolérance 4
5.2.2	Filtres d'émission 4
5.2.3	Réponse de symbole de l'émetteur 4
5.2.4	Mappage de symbole 5
5.2.5	Constellation de codage 5
5.3	Mise en trame 9
5.3.1	Ordre des bits 10
5.3.2	Définition de la commande de trame 10
5.3.3	Trame Ethernet 12
5.3.4	Contrôle CRC-16 12
5.3.5	Remplissage 13
5.3.6	Embrouilleur 13
5.4	Prescriptions minimales d'équipement 14
5.5	Impédance d'entrée de l'émetteur-récepteur 14
5.5.1	Affaiblissement d'adaptation dans la bande passante 14
5.5.2	Impédance d'entrée dans la bande affaiblie 14
6	Spécification du protocole de la couche Liaison 16
6.1	Aperçu général 16
6.2	Format de trame de base de la couche Liaison 16
6.2.1	Format court 17
6.2.2	Format long 18
6.2.3	Ordre de transmission 19
6.3	Fonction de commande de négociation du débit 19
6.3.1	Format de trame de commande de demande de débit (RRCF) 19
6.3.2	Aperçu général de la négociation de débit 21
6.3.3	Fonctionnement de l'émetteur 23
6.3.4	Fonctionnement du récepteur 24
6.4	Fonction d'intégrité de liaison 25
6.5	Annonce de capacité et de statut 28

	Page
6.5.1	Trame de commande CSA..... 29
6.5.2	Fanions de statut, de configuration, d'option et de priorité 30
6.5.3	Annonce de capacités et de statut – Termes et paramètres..... 30
6.5.4	Paramètres de statut et d'état d'ensemble de priorités..... 31
6.5.5	Fonctionnement du protocole d'annonce de capacités et de statut 32
6.5.6	Sélection du mode du réseau en fonction de l'ensemble CurrentInUseSet 34
6.5.7	Priorités..... 34
6.5.8	Mappage de priorité et protocole LARQ..... 35
6.5.9	Modification du mappage de priorité basée sur l'ensemble CurrentInUseSet 35
6.6	LARQ: protocole de demande de répétition automatique limitée..... 36
6.6.1	Formats de trame – En-têtes d'encapsulation 37
6.6.2	Protocole LARQ – Aperçu général 42
6.6.3	Fonctionnement de l'émetteur..... 44
6.6.4	Fonctionnement du récepteur 46
6.7	Formats propres au fournisseur 50
6.8	Profil minimal de prise en charge du protocole de liaison 51
6.8.1	Limitations des stations avec profil minimal..... 51
6.8.2	Prise en charge des trames de protocole de liaison en format court et long, avec une compatibilité totale vers l'aval..... 51
6.8.3	Prise en charge complète de la sélection du débit et de l'intégrité de la liaison 52
6.8.4	Prise en charge minimale du protocole LARQ..... 52
6.8.5	Prise en charge des annonces CSA uniquement en réception 52
6.8.6	Priorité des trames émises 52
6.8.7	Priorité des trames reçues..... 52
6.8.8	Prescriptions supplémentaires pour les stations avec profil complet 52
Annexe A – Performances du récepteur 53	
A.1	Sensibilité 53
A.1.1	Signal maximal..... 53
A.1.2	Sensibilité minimale 53
A.2	Immunité aux interférences en bande étroite..... 53
A.2.1	Interférences en mode différentiel..... 53
A.2.2	Interférences en mode commun..... 54
A.3	Marges du système 54
A.3.1	Perturbations provoquées par une atténuation..... 55
A.3.2	Perturbations par ajout de bruit blanc..... 55
A.3.3	Perturbations par interférence en bande étroite 56
A.3.4	Prescriptions pour le bruit impulsionnel..... 56
A.3.5	Marge système pour un canal dynamique 56

	Page
A.3.6 Immunité vis-à-vis du signal de sonnerie téléphonique	57
Annexe B – Boucles d'essais réseau	57
B.1 Modèle de câble.....	57
B.2 Boucles d'essais	58

Recommandation UIT-T G.989.2

Émetteurs-récepteurs de réseautage sur lignes téléphoniques – Prescriptions de format de charge utile et de couche Liaison

1 Domaine d'application

La présente Recommandation décrit la modulation de charge utile, la trame de charge utile et les protocoles de la couche Liaison pour les émetteurs-récepteurs permettant un réseautage sur lignes téléphoniques, avec les caractéristiques suivantes:

- débits de transmission de la charge utile sur la couche Physique allant de 4 à 32 Mbit/s, avec un débit total nominal effectif équivalent à celui d'une liaison Ethernet 10BASE-T, des débits plus élevés étant prévus dans de futures Recommandations;
- émetteurs-récepteurs avec une adaptation de débit qui optimise les débits de données et les taux d'erreur de paquet pour des conditions de canal variant de manière dynamique au niveau de chaque paquet;
- technique de modulation assurant des communications robustes sur des canaux présentant une forte sélectivité en fréquence;
- demande de répétition automatique limitée (LARQ, *limited automatic repeat request*) optionnelle qui masque les erreurs résultant de bruits impulsionnels;
- compatibilité vers l'amont avec des équipements PNT installés existants;
- compatibilité avec d'autres services sur ligne téléphonique, tels que la téléphonie classique, les Rec. UIT-T V.90/V.92, le RNIS et la Rec. UIT-T G.992.2;
- utilisation des procédures de commande MAC et d'encapsulation définies dans la Rec. UIT-T G.989.1.

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.

- UIT-T G.989.1 (2001), *Émetteurs-récepteurs pour réseaux de lignes téléphoniques – Principes fondamentaux*.
- ISO/CEI 8802-3:2000, *Technologies de l'information – Télécommunications et échange d'information entre systèmes – Réseaux locaux et métropolitains – Prescriptions spécifiques – Partie 3: Accès multiple par surveillance du signal et détection de collision (CSMA/CD) et spécifications pour la couche Physique*.
- ISO/CEI 15802-3:1998, *Technologies de l'information – Télécommunications et échange d'information entre systèmes – Réseaux locaux et métropolitains – Spécifications communes – Partie 3: Ponts du contrôle d'accès au support*.
- IEEE 802.1Q-1998, *IEEE standard for local and metropolitan area networks: Virtual Bridge Local Area networks (Réseaux locaux et métropolitains: réseau local à passerelle virtuelle)*.

3 Définitions

La présente Recommandation définit les termes suivants:

- 3.1 paquet à diffusion générale:** paquet dont l'adresse de destination contient des bits positionnés tous sur "1" (FF FF FF FF FF FF₁₆).
- 3.2 annonce de capacité et de statut:** protocole de commande de couche Liaison utilisé pour diffuser de manière continue, avec une faible charge induite, des informations de statut entre des stations.
- 3.3 fragment de collision:** séquence de transmission fixée se constituant d'un préambule, d'un en-tête de trame ainsi que des champs DA, SA, ET et EOF.
- 3.4 séquence EOF:** séquence de quatre symboles ajoutée à la trame de la couche Physique, constituée par les quatre premiers symboles de la séquence TRN.
- 3.5 Ethernet:** réseaux du type défini par l'ISO/CEI 8802.
- 3.6 intégrité de liaison:** processus qui reconnaît une indication de l'utilisateur signalant que l'interface est raccordée à la ligne téléphonique et peut détecter au moins une autre station.
- 3.7 priorité du niveau liaison:** classe de priorité du logiciel associée au paquet de la couche Liaison. Cette valeur peut être mappée lorsqu'elle est convertie vers ou à partir de la priorité de la couche Physique.
- 3.8 priorité de couche Physique:** priorité absolue, codée sur 3 bits, utilisée par la commande d'accès au support G.989.1 dans le but d'établir un ordre de préférence pour les trames en attente de transmission sur le canal. La priorité 7 correspond à la préférence la plus élevée.
- 3.9 paradiaphonie propre:** paradiaphonie créée par d'autres systèmes du même type.
- 3.10 marge du système:** ensemble de valeurs correspondant à des niveaux de perturbation pour lesquels un récepteur ne dépasse pas un taux d'erreur de trame spécifié sur une boucle d'essais donnée.
- 3.11 trame CS valide:** signal émis minimal acceptable pour des implémentations de recherche de porteuse et de détection de collision.

4 Abréviations

La présente Recommandation utilise les abréviations suivantes:

BEB	réduction de puissance binaire exponentielle (<i>binary exponential backoff</i>)
CSA	annonce de capacité et de statut (<i>capability and status announcement</i>)
CSMA/CD	accès multiple avec détention de porteuse et de collision (<i>carrier sense multiple access with collision detection</i>)
DA	adresse de destination (<i>destination address</i>)
DFPQ	file d'attente répartie avec priorité équitable (<i>distributed fair priority queuing</i>)
EOF	fin de trame (<i>end of frame</i>)
FDQAM	modulation QAM avec diversité de fréquence (<i>frequency diverse QAM</i>)
FER	taux d'erreur de trame (<i>frame error rate</i>)
HCS	séquence de contrôle d'en-tête (<i>header check sequence</i>)
JEDEC	Joint Electron Device Engineering Council
LARQ	demande de répétition automatique limitée (<i>limited automatic repeat request</i>)

LSB	bit le moins significatif (<i>least significant bit</i>)
MAC	commande d'accès au support (<i>medium access control</i>)
MII	interface indépendante du média (<i>media independent interface</i>)
MSB	bit le plus significatif (<i>most significant bit</i>)
NEXT	paradiaphonie (<i>near-end crosstalk</i>)
NID	dispositif d'interface réseau (<i>network interface device</i>)
PAR	rapport entre crête et moyenne (<i>peak to average ratio</i>)
PDU	unité de données protocolaire (<i>protocol data unit</i>)
PE	codage de charge utile (<i>payload encoding</i>)
PHY	couche Physique (<i>physical layer</i>)
POTS	service de téléphonie classique (<i>plain old telephone service</i>)
ppm	millionième (<i>parts per million</i>)
QAM	modulation d'amplitude en quadrature (<i>quadrature amplitude modulation</i>)
rms	écart quadratique moyen (<i>root mean square</i>)
SA	adresse source (<i>source address</i>)
SI	initialisation de l'embrouilleur (<i>scrambler initialization</i>)
TCP	protocole de commande de transmission (<i>transmission control protocol</i>)

5 Spécification de la couche Physique

La Figure 1 présente une vue fonctionnelle du modèle de référence du système. Les fonctions de commande MAC et de couche Physique G.989.1 sont définies dans la Rec. UIT-T G.989.1. Les fonctions des protocoles de la couche Physique de charge utile et de la couche Liaison sont définies dans la présente Recommandation.

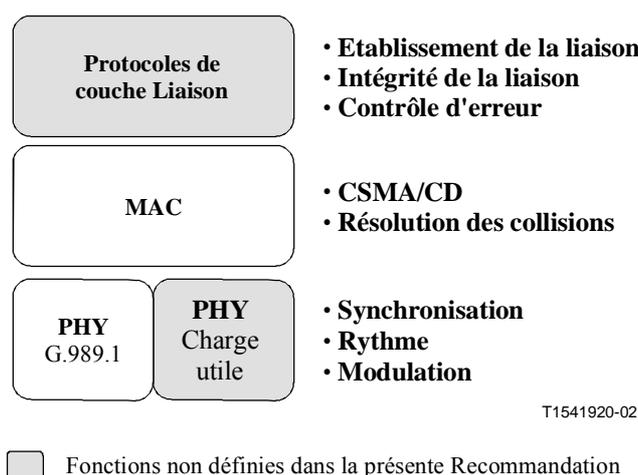


Figure 1/G.989.2 – Vue fonctionnelle du modèle de référence

5.1 Aperçu général

La présente Recommandation définit le contenu d'une trame PNT encapsulée au moyen d'un en-tête et d'une queue G.989.1, c'est-à-dire la partie d'une trame PNT située entre l'octet FT G.989.1 et le délimiteur EOF G.989.1.

Le § 5.2 définit la modulation utilisée par la charge utile PNT et le § 5.3 définit le format de trame.

5.2 Modulation

La trame G.989.2 utilisera une modulation d'amplitude en quadrature (QAM, *quadrature amplitude modulation*).

Le débit de symboles bidimensionnels sera égal à 4 000 000 symboles par seconde avec une tolérance de $\pm 0,01\%$.

5.2.1 Fréquence porteuse et tolérance

La fréquence de la porteuse sera égale à 7 MHz.

L'horloge de la porteuse sera verrouillée sur l'horloge de symbole.

5.2.1.1 Gigue de l'horloge

L'écart quadratique moyen de la gigue de l'horloge d'émission sera inférieur à 70 ps sur une fenêtre glissante de 10 μ s.

5.2.2 Filtres d'émission

On appliquera un filtrage permettant de respecter le gabarit de densité PSD défini dans la Rec. UIT-T G.989.1. En particulier, pour un mappage de symboles en 4D (voir § 5.2.4.1), le filtre d'émission ne sera pas plus étroit que celui qui est utilisé pour le mappage de symboles en 2D.

NOTE 1 – L'utilisation d'une telle largeur de filtre d'émission pour le mappage de symboles en 4D conduira à une redondance dans le domaine temporel. L'utilisation de cette technique de modulation FDQAM permet d'accroître la robustesse vis-à-vis des perturbations pour des canaux présentant une sélectivité en fréquence.

NOTE 2 – Les prescriptions de mise à l'échelle du § 5.2.5.3 conduisent à des niveaux de puissance de sortie légèrement différents pour diverses constellations de codage. Les valeurs de codage de charge utile égales à 1 ou 2 (voir § 5.3.2.3) fournissent la puissance d'émission la plus élevée.

5.2.2.1 Ondulation dans la bande passante

L'ondulation dans les bandes de 4,75 à 6,25 MHz et de 8,0 à 9,25 MHz sera inférieure à 2,0 dB.

5.2.3 Réponse de symbole de l'émetteur

L'amplitude en sortie de l'émetteur respectera les limites supérieures du gabarit temporel suivant (se référer à la Figure 2). La réponse sera mesurée sur une charge de 100 Ω entre pointe et nuque au niveau de l'interface W1 de l'émetteur (se référer au paragraphe 4/G.989.1). La valeur de la sortie avant $t = 0$ et après $t = 5,0 \mu$ s sera inférieure à 0,032% de l'amplitude de crête.

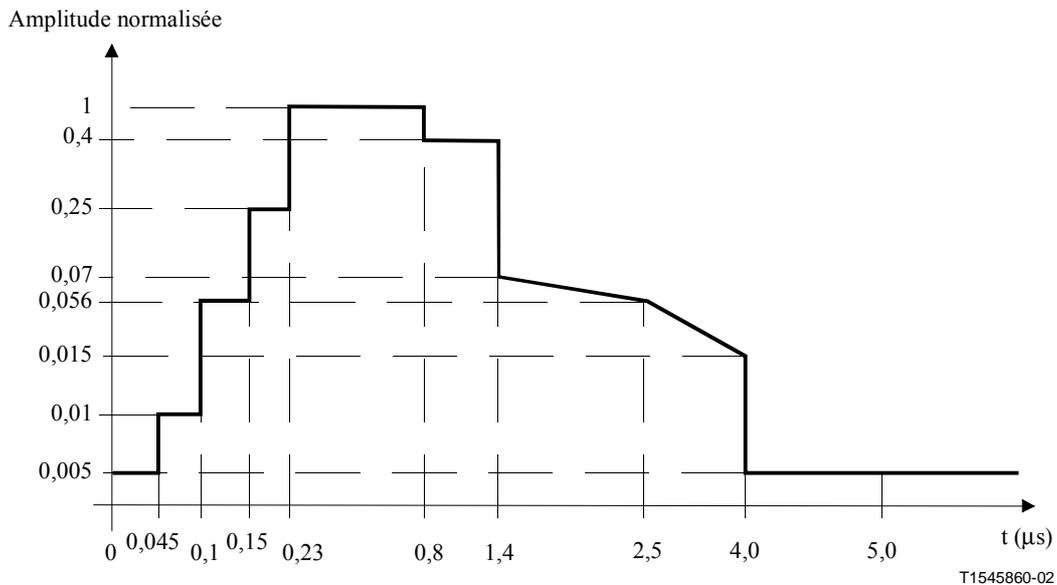


Figure 2/G.989.2 – Gabarit d'amplitude de réponse pour les symboles de l'émetteur

5.2.4 Mappage de symbole

Toutes les trames G.989.2 utiliseront le mappage de symbole 4D défini dans le § 5.2.4.1. Une partie de la trame G.989.2 peut utiliser de manière optionnelle le mappage de symbole 2D défini dans le § 5.2.4.2.

5.2.4.1 Mappage de symbole 4D

Chaque symbole 4D se constituera de deux intervalles consécutifs de symboles QAM bidimensionnels. Le premier symbole QAM sera modulé par les bits de données 2 à 8 en utilisant la constellation de codage décrite dans le § 5.2.5. Le deuxième intervalle de symbole sera émis avec une amplitude nulle.

5.2.4.2 Mappage de symbole 2D

Chaque symbole 2D se constituera d'un symbole QAM unique, modulé par les bits de données 2 à 8 en utilisant la constellation de codage décrite dans le § 5.2.5.

5.2.4.3 Transition de 2D vers 4D

Au moment d'une commutation du mappage de symbole 2D vers 4D au sein d'une même trame G.989.2, un symbole supplémentaire d'amplitude nulle sera émis immédiatement après le dernier symbole 2D et immédiatement avant le premier symbole 4D.

5.2.5 Constellation de codage

5.2.5.1 Mappage des bits vers les symboles

Les bits en entrée seront regroupés en intervalles de symbole de N bits, avec $2 \leq N \leq 8$. Chaque groupe de N bits sera mappé vers un symbole 2D comme indiqué dans les Figures 3 à 9. Les valeurs des symboles sont représentées avec le bit le plus à droite correspondant au premier bit temporel et le bit le plus à gauche au dernier bit temporel.

Toutes les constellations, à l'exception de celle correspondant à 3 bits, utilisent une grille quadratique régulière et présentent une symétrie par rapport à l'axe réel et à l'axe imaginaire. Les points de la constellation correspondant à 3 bits par symbole sont espacés de manière régulière sur une circonférence d'amplitude constante.

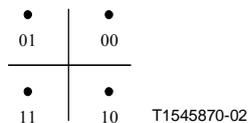


Figure 3/G.989.2 – 2 bits par symbole

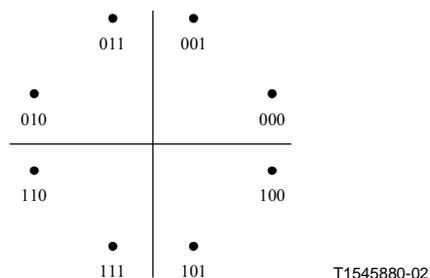


Figure 4/G.989.2 – 3 bits par symbole

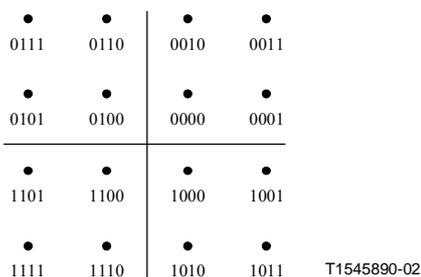


Figure 5/G.989.2 – 4 bits par symbole

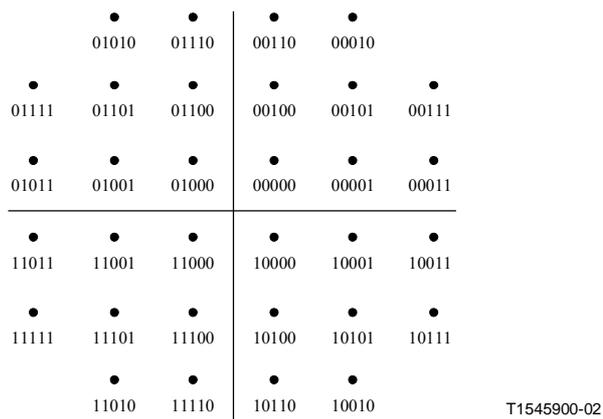


Figure 6/G.989.2 – 5 bits par symbole

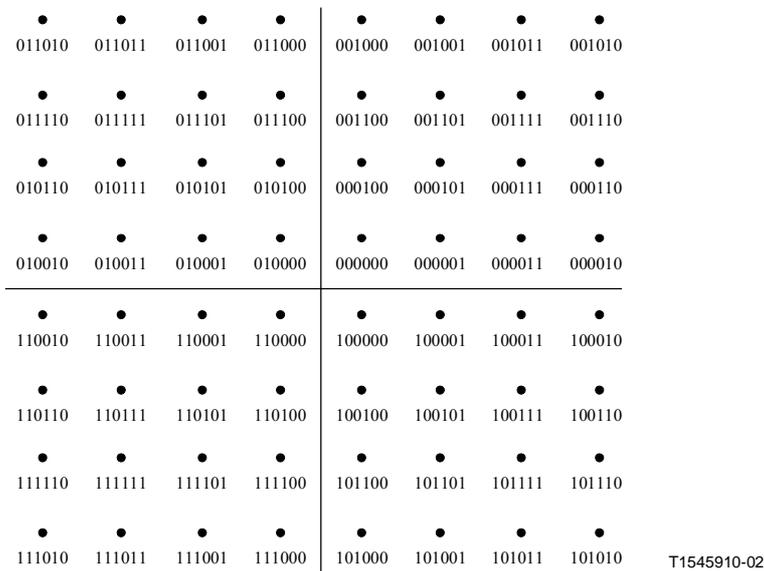
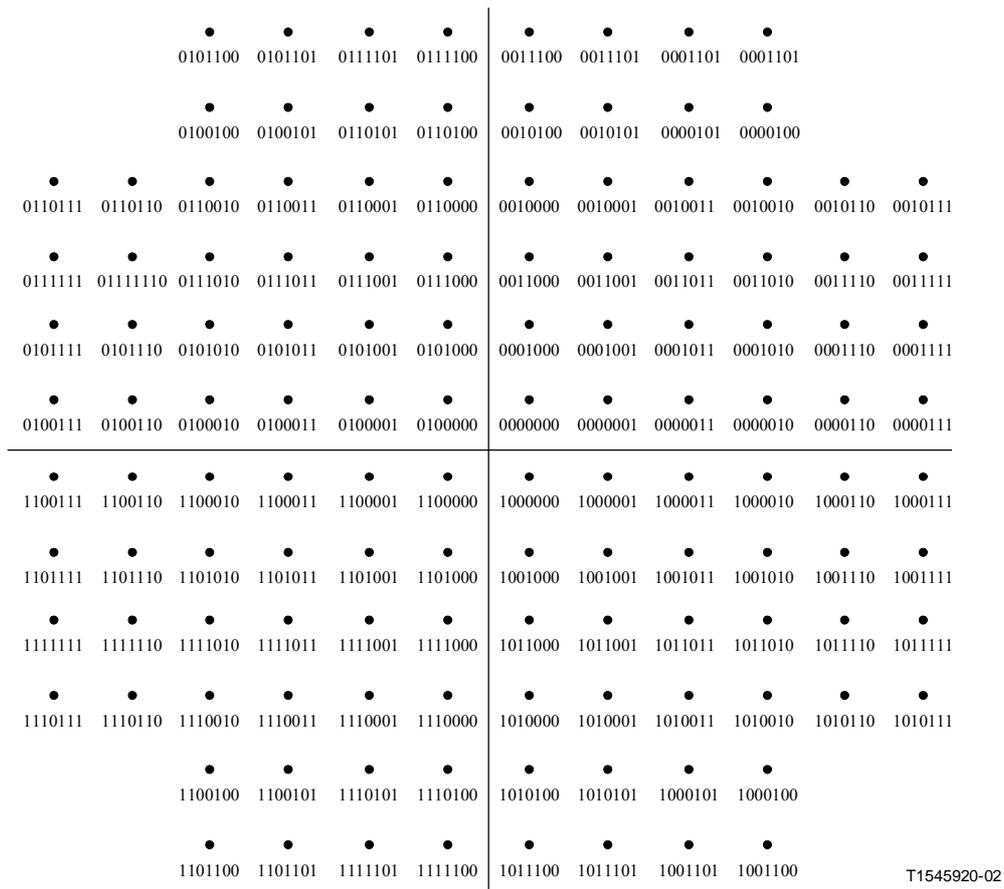
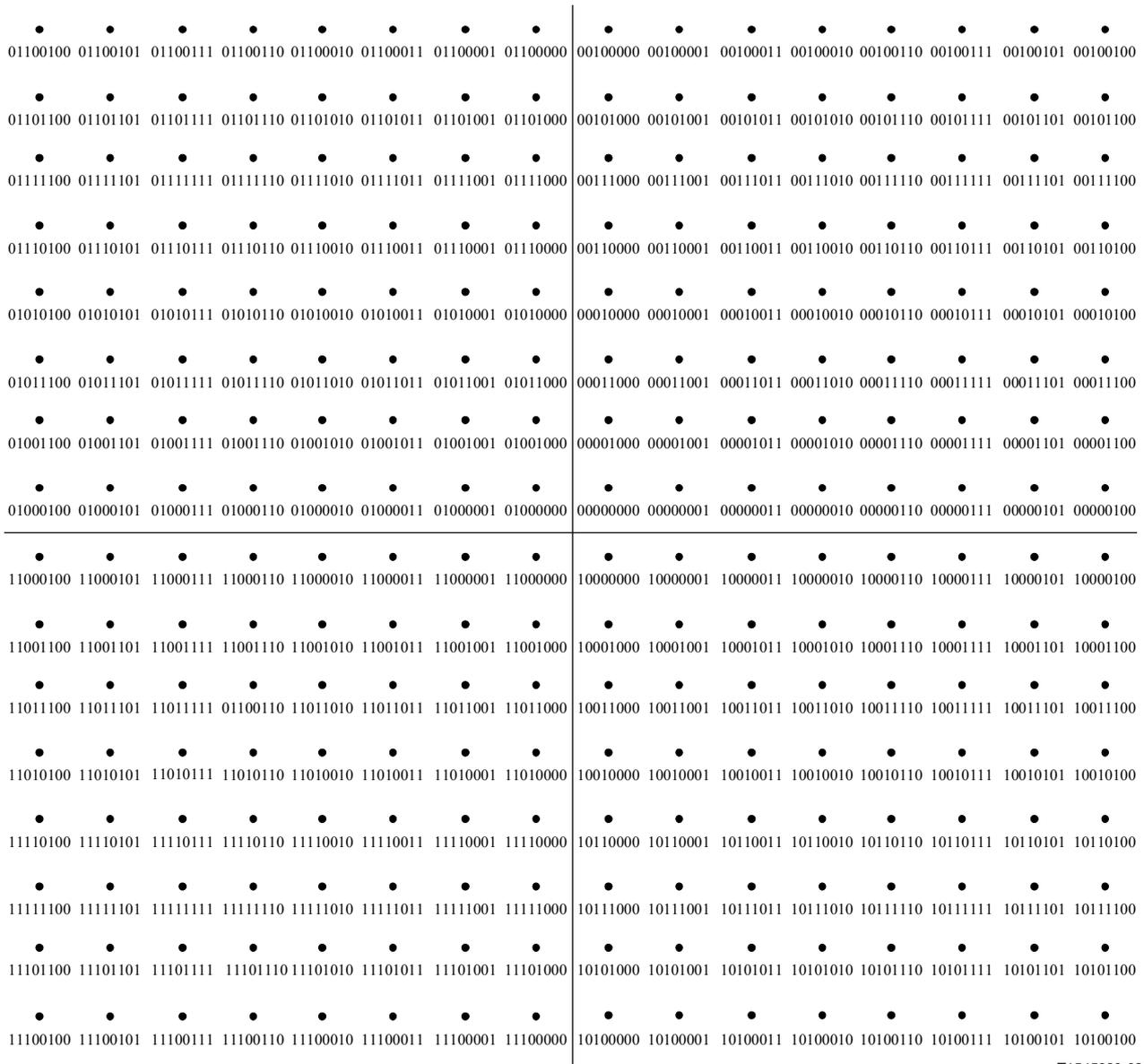


Figure 7/G.989.2 – 6 bits par symbole



T1545920-02

Figure 8/G.989.2 – 7 bits par symbole



T1545930-02

Figure 9/G.989.2 – 8 bits par symbole

5.2.5.2 Transitions de mappage de symbole

Les transitions de mappage de symbole au sein d'une trame G.989.2 se produiront au niveau d'une frontière d'octet dans le cas de transitions de mappage de symbole 2D vers 4D ou pour des transitions du mappage du nombre de bits par symbole. Si le nombre de bits de données mappés vers le symbole qui précède immédiatement une telle transition est inférieur à la valeur actuelle de N, un nombre suffisant de bits nuls sera alors ajouté aux bits de données de manière à compléter le dernier symbole de la séquence.

5.2.5.3 Mise à l'échelle

Le Tableau 1 donne les échelles relatives des différentes constellations. Les points des constellations seront mis à l'échelle de manière à ce que les points de référence correspondent aux valeurs indiquées, avec une tolérance minimale de ±4% sur la distance.

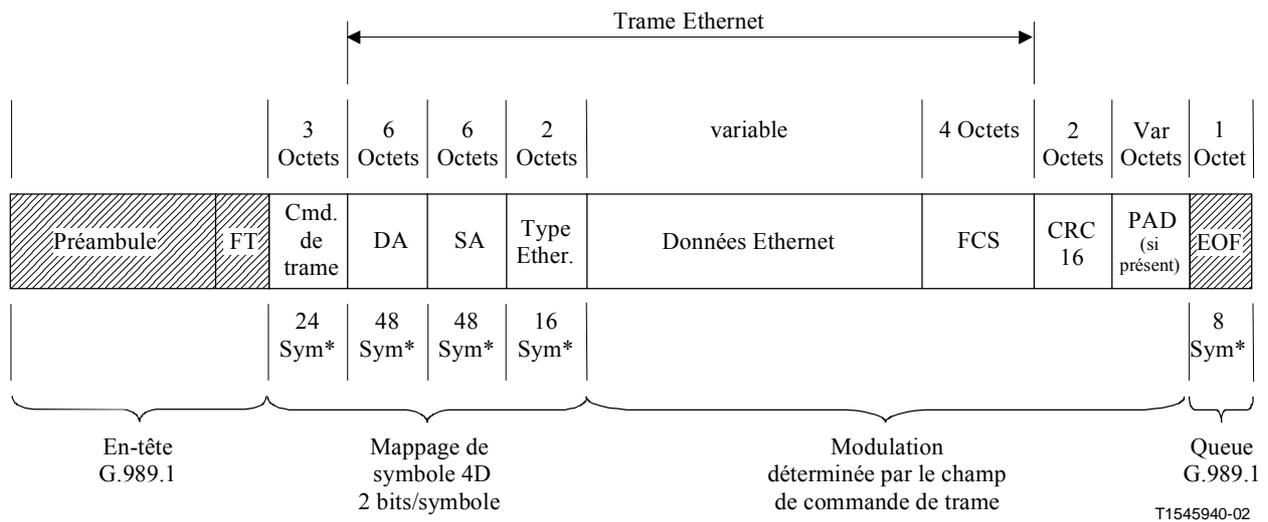
Tableau 1/G.989.2 – Points de référence des constellations

Bits par symbole	Point de référence	Amplitude du mappage 4D	Amplitude du mappage 2D
2	00	1	$\frac{1}{\sqrt{2}}$
3	000	1	$\frac{1}{\sqrt{2}}$
4	0000	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3\sqrt{2}}$
5	00000	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4\sqrt{2}}$
6	000000	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{7\sqrt{2}}$
7	0000000	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9\sqrt{2}}$
8	00000000	$\frac{1}{15}$	$\frac{1}{15\sqrt{2}}$
NOTE – La mise à l'échelle des points des constellations est telle que les points situés le plus à l'extérieur ont une amplitude approximativement égale.			

5.3 Mise en trame

La charge utile PHY pour chaque trame physique est formatée comme une trame de couche Liaison de type Ethernet. La trame Ethernet est précédée en outre d'un champ de commande de trame de 3 octets et suivie d'un champ de contrôle CRC-16 de 2 octets et d'un champ éventuel de remplissage de longueur variable.

La Figure 10 représente le format de trame constitué d'une partie d'en-tête à faible débit binaire, d'une partie de données à débit variable et d'une queue à faible débit binaire. Comme indiqué dans le § 5.3.6, certaines parties de la trame ne sont pas embrouillées.



* Nombre de symboles 2D dans ce champ

 Défini dans d'autres Recommandations PNT

Figure 10/G.989.2 – Format de trame de couche Physique

5.3.1 Ordre des bits

Sauf indication contraire, tous les champs seront émis avec l'octet le plus significatif en premier, le bit LSB de chaque octet étant transmis en premier. Le bit LSB au sein d'un champ est le bit n° 0. Les bits ou les octets les plus significatifs figurent à droite dans les diagrammes.

5.3.2 Définition de la commande de trame

Le champ de commande de trame contient 24 bits dont la signification est donnée par le Tableau 2.

Tableau 2/G.989.2 – Champ de commande de trame

Champ	N° de bit	Bits	Description
RSVD	23	1	Réservé. Ce champ sera positionné sur zéro par l'émetteur et ignoré par le récepteur.
PRI	22:20	3	Priorité (0-7)
SI	19:16	4	Initialisation de l'embrouilleur
PE	15:8	8	Codage de la charge utile
HCS	7:0	8	Séquence de contrôle d'en-tête

Il s'ensuit que le champ de commande de trame est transmis dans l'ordre indiqué par la Figure 11 conformément à l'ordre des bits défini dans le § 5.3.1.

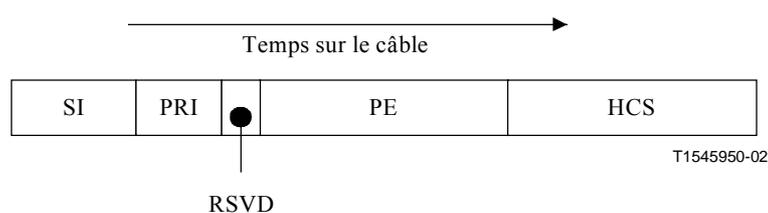


Figure 11/G.989.2 – Ordre des bits du champ de commande de trame

5.3.2.1 Bits d'initialisation de l'embrouilleur

Ce champ de 4 bits sera positionné sur la valeur utilisée pour initialiser l'embrouilleur, comme décrit dans le § 5.3.6.

5.3.2.2 Priorité

La priorité fait référence au mécanisme de priorité de la commande MAC. La valeur des trois bits de priorité de la couche Physique (PRI) sera positionnée sur le niveau de priorité G.989.1 de la trame.

Le champ PRI sera ignoré à la réception et positionné sur 1 en émission pour des stations qui n'implémentent pas la classe de service.

5.3.2.3 Codage de la charge utile

Ce champ détermine la constellation de codage de la partie à débit binaire variable de la charge utile PNT. Les valeurs sont définies par le Tableau 3 ci-dessous.

Tableau 3/G.989.2 – Codage de la charge utile

Valeur	Interprétation
0	Mode non normalisé
1	Mappage de symbole 4D, 2 bits par symbole
2	Mappage de symbole 4D, 3 bits par symbole
3	Mappage de symbole 4D, 4 bits par symbole
4	Mappage de symbole 4D, 5 bits par symbole
5	Mappage de symbole 4D, 6 bits par symbole
6	Mappage de symbole 4D, 7 bits par symbole
7	Mappage de symbole 4D, 8 bits par symbole
8	Mode non normalisé
9	Mappage de symbole 2D, 2 bits par symbole
10	Mappage de symbole 2D, 3 bits par symbole
11	Mappage de symbole 2D, 4 bits par symbole
12	Mappage de symbole 2D, 5 bits par symbole
13	Mappage de symbole 2D, 6 bits par symbole
14	Mappage de symbole 2D, 7 bits par symbole
15	Mappage de symbole 2D, 8 bits par symbole
16-256	Réservé pour une utilisation par l'UIT-T

NOTE – Les récepteurs rejeteront les trames contenant des valeurs de codage PE non reconnues.

5.3.2.4 Séquence de contrôle d'en-tête (HCS, *header check sequence*)

Un contrôle de redondance cyclique (CRC, *cyclic redundancy check*) de 8 bits est calculé à partir de la séquence (non embrouillée) des 128 bits dans leur ordre de transmission, du champ FT G.989.1 jusqu'au champ SA Ethernet, en substituant des bits nuls pour la valeur du champ HCS non encore calculée. Le codage est défini par le polynôme générateur suivant:

$$G(x) = x^8 + x^7 + x^6 + x^4 + x^2 + 1 \quad (5-1)$$

La valeur du contrôle CRC correspondant à une trame donnée est définie par la procédure mathématique suivante:

- 1) les 8 premiers bits de la séquence d'entrée, pris dans l'ordre de transmission, (c'est-à-dire, le champ FT G.989.1) sont complémentés à 2;
- 2) les 128 bits de la séquence, pris dans l'ordre de transmission, sont considérés ensuite comme étant les coefficients d'un polynôme $M(x)$ d'ordre 127. (Le premier bit du champ FT correspond au terme d'ordre x^{127} et le dernier bit du champ SA correspond au terme d'ordre x^0);
- 3) le polynôme $M(x)$ est multiplié par x^8 puis divisé par le polynôme $G(x)$, ce qui fournit comme reste un polynôme $R(x)$ d'ordre 7;
- 4) le polynôme $R(x)$ est multiplié par le polynôme $H(x)$ pour produire le polynôme $N(x)$, $H(x)$ étant défini par l'égalité $H(x)=x^7 + x^6 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$;
- 5) le polynôme $N(x)$ est divisé par le polynôme $G(x)$, ce qui fournit comme reste un polynôme $R'(x)$ d'ordre 7;
- 6) les coefficients de $R'(x)$ sont considérés comme constituant une séquence de 8 bits;
- 7) le complément à 2 de cette séquence fournit comme résultat le contrôle CRC'.

Les 8 bits du contrôle CRC' sont placés dans le champ HCS, x^7 correspondant au bit LSB de l'octet et x^0 au bit MSB de l'octet. (Il s'ensuit que bits du contrôle CRC' sont transmis dans l'ordre $x^7, x^6, \dots, x^1, x^0$.)

NOTE 1 – Bien que la séquence HCS fasse partie du flux de bits protégé, le calcul est fait de telle manière que le flux résultant de 128 bits fournisse des capacités de détection d'erreur identiques à celles d'un flux de 120 bits auquel a été ajouté un contrôle CRC de 8 bits Il convient de noter que la séquence des 128 bits résultants, lorsqu'on la considère comme les coefficients d'un polynôme d'ordre 127, fournira toujours un reste égal à $x^7 + x^6 + x + 1$ après division par le polynôme $G(x)$.

NOTE 2 – Comme tous les champs couverts par la séquence HCS sont émis avec un mappage de symbole 4D et avec 2 bits par symbole, ces champs devraient être reçus correctement dans un grand nombre de cas lors d'une réception de charge utile erronée. Il est possible d'utiliser la séquence HCS en conjonction avec des statistiques d'erreur et une décision douce permettant de déterminer avec une forte probabilité que l'en-tête a été reçu correctement. Cette connaissance peut être utile lorsqu'il s'agit d'optimiser la performance des algorithmes ARQ et/ou de négociation de débit.

5.3.3 Trame Ethernet

Les champs binaires allant du champ DA jusqu'au champ FCS représentés par la Figure 10 sont identiques aux champs correspondants décrits dans l'ISO/CEI 8802-3; ils constituent la trame Ethernet au niveau de la couche Liaison.

NOTE 1 – Une trame Ethernet conforme à l'ISO/CEI 8802-3 possède un préambule Ethernet et des bits délimiteurs de début de trame (SFD, *start-frame-delimiter*) constituant le préfixe de la trame au niveau de la couche Liaison; ces bits ne figurent pas dans les trames PNT.

NOTE 2 – Il est prévu que les adresses de commande MAC assignées pour Ethernet soient utilisées comme adresse de destination (DA, *destination address*) et comme adresse source (SA, *source address*).

La trame Ethernet se constitue d'un nombre entier d'octets.

Le paragraphe 6 donne une description plus détaillée du formatage et des procédures concernant le contenu d'une trame Ethernet.

5.3.4 Contrôle CRC-16

Un contrôle de redondance cyclique (CRC) de 16 bits est calculé à partir du contenu (non embrouillé) de la trame Ethernet dans l'ordre de sa transmission, du premier bit du champ DA jusqu'au dernier bit du champ FCS. Le codage est défini par le polynôme générateur suivant:

$$G(x) = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1 \quad (5-2)$$

La valeur du contrôle CRC correspondant à une trame donnée est définie par la procédure mathématique suivante.

- 8) Les 16 premiers bits de la trame pris dans l'ordre de transmission sont complémentés à 2;
- 9) les n bits de la trame pris dans l'ordre de transmission sont considérés ensuite comme les coefficients d'un polynôme $M(x)$ d'ordre $n-1$. (Le premier bit du champ DA correspond au terme $x^{(n-1)}$ et le dernier bit du champ FCS correspond au terme x^0);
- 10) le polynôme $M(x)$ est multiplié par x^{16} puis divisé par le polynôme $G(x)$, ce qui fournit un reste $R(x)$ d'ordre 15;
- 11) les coefficients de $R(x)$ sont considérés comme constituant une séquence de 16 bits;
- 12) le complément à 2 de cette séquence fournit comme résultat le contrôle CRC.

Les 16 bits du contrôle CRC sont placés dans le champ CRC-16, x^{15} correspondant au bit LSB du premier l'octet et x^0 au bit MSB du dernier octet. (Il s'ensuit que les bits du contrôle CRC sont transmis dans l'ordre $x^{15}, x^{14}, \dots, x^1, x^0$.)

NOTE – Le contrôle CRC-16 fournit, en conjonction avec le champ Ethernet FCS, une protection contre les erreurs non détectées meilleure que celle qui est fournie uniquement par le champ FCS. Ceci résulte de facteurs d'environnement qui occasionnent souvent un débit d'erreurs de trame (FER, *frame error rate*) qui est supérieur de plusieurs ordres de grandeurs à celui d'Ethernet, ce qui rend le champ inefficace en tant que tel.

5.3.5 Remplissage

Les charges utiles PNT qui utilisent un mappage de symbole 2D contiendront un champ de remplissage (Pad) constitué d'un nombre entier d'octets.

Le dernier octet du champ de remplissage est positionné sur une valeur appelée PAD_LENGTH égale au nombre d'octets du champ de remplissage diminué d'une unité. Les octets précédents du champ de remplissage sont positionnés sur des valeurs toutes nulles.

La valeur de PAD_LENGTH sera telle que la durée de transmission de la trame, du préambule G.989.1 jusqu'au dernier symbole du délimiteur EOF G.989.1 ait une durée minimale de 92,5 μ s.

Les charges utiles PNT qui utilisent exclusivement le mappage de symbole 4D ne contiendront pas de champ de remplissage.

NOTE – Le champ de remplissage garantit qu'il est possible de faire la distinction entre un fragment de collision et une trame valide en utilisant la longueur de transmission détectée par la fonction de détection de porteuse, telle qu'elle est définie dans la Rec. UIT-T G.989.1. Un exemple de formule adéquate pour la génération de PAD_LENGTH est $\max(102-N,0)$, dans laquelle N est le nombre d'octets des champs DA à FCS, limites comprises.

5.3.6 Embrouilleur

Le contenu de la charge utile PNT sera embrouillé au moyen de l'embrouilleur synchronisé sur la trame qui est représenté par la Figure 12. L'embrouillage débutera avec le neuvième bit transmis pour le champ de commande de trame (c'est-à-dire le premier bit du codage de la charge utile) pour se terminer par le dernier bit du contrôle CRC-16 (ou du dernier bit du champ de remplissage éventuel), limites comprises.

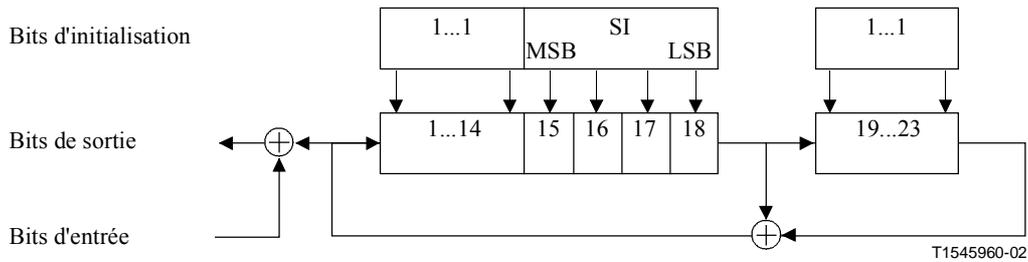


Figure 12/G.989.2 – Embrouilleur de données

L'embrouilleur utilise le polynôme générateur suivant.

$$G(x) = x^{23} + x^{18} + 1 \quad (5-3)$$

Les bits 15 à 18 du registre à décalage seront initialisés avec un nombre aléatoire de 4 bits, dont la valeur sera placée dans le sous-champ SI défini dans le § 5.3.2.1, dans un ordre tel que la position 15 corresponde au bit MSB (bit 19 du contrôle de trame) et le bit 18 corresponde au bit LSB (bit 16 du contrôle de trame).

NOTE – L'utilisation d'un état initial aléatoire pour l'embrouilleur a pour résultat de produire une densité spectrale de puissance (PSD, *power spectral density*) uniforme mesurée sur plusieurs trames similaires. Ceci élimine le problème de tonalités dans la puissance PSD résultant d'une forte corrélation entre des paquets. Les valeurs d'initialisation de l'embrouilleur doivent être réparties de manière uniforme pour atteindre cet objectif.

5.4 Prescriptions minimales d'équipement

Un équipement G.989.2 doit, au minimum, être en mesure d'émettre et de recevoir des trames avec une modulation de mappage de symbole 4D.

Les émetteurs doivent, au minimum, être en mesure de transmettre toutes les constellations allant de 2 bits par symbole à 8 bits par symbole (valeurs de codage de charge utile comprises entre 1 et 7). Les récepteurs doivent, au minimum, être en mesure de recevoir toutes les constellations allant de 2 bits par symbole à 6 bits par symbole (valeurs de codage de charge utile comprises entre 1 et 5).

NOTE – Il peut également être possible d'exploiter des équipements G.989.2 dans un mode de fonctionnement compatible avec des équipements PNT existants, non normalisés, utilisant une vitesse plus faible et déjà installés. Un tel fonctionnement est en dehors du domaine d'application de la présente Recommandation.

5.5 Impédance d'entrée de l'émetteur-récepteur

5.5.1 Affaiblissement d'adaptation dans la bande passante

L'affaiblissement d'adaptation moyen de l'émetteur-récepteur sur une charge résistive de 100 Ω ne dépassera pas 12 dB entre 4,75 et 9,25 MHz. Cette prescription s'applique à l'émetteur-récepteur alimenté normalement ou dans le mode à basse puissance (avec l'émetteur non alimenté). L'affaiblissement d'adaptation moyen sur une charge résistive de 100 Ω sera supérieur à 6 dB entre 4,75 et 9,25 MHz lorsque l'émetteur-récepteur n'est pas alimenté.

5.5.2 Impédance d'entrée dans la bande affaiblie

L'amplitude de l'impédance d'entrée sera supérieure à 10 Ω entre 0 et 30 MHz et respectera les limites inférieures du gabarit suivant (se référer au Tableau 4).

Tableau 4/G.989.2 – Gabarit de limite inférieure de l'impédance d'entrée

Domaine de fréquences (kHz)	Impédance min. (Ω)
$0 < f \leq 0,285$	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
$3085 < f \leq 3725$	10
$3725 < f \leq 3935$	25
$3935 < f \leq 4000$	50
$10\ 000 < f \leq 10\ 450$	40
$10\ 450 < f \leq 10\ 925$	25
$10\ 925 < f \leq 13\ 125$	10
$13\ 125 < f \leq 14\ 175$	25
$14\ 175 < f \leq 16\ 800$	50
$16\ 800 < f \leq 21\ 000$	100
$21\ 000 < f \leq 30\ 000$	50

Cette prescription s'applique à l'émetteur-récepteur alimenté normalement, dans le mode à basse puissance (avec l'émetteur non alimenté), ou non alimenté.

NOTE – La Figure 13 suivante donne un exemple d'impédance d'entrée pour un émetteur-récepteur conforme.

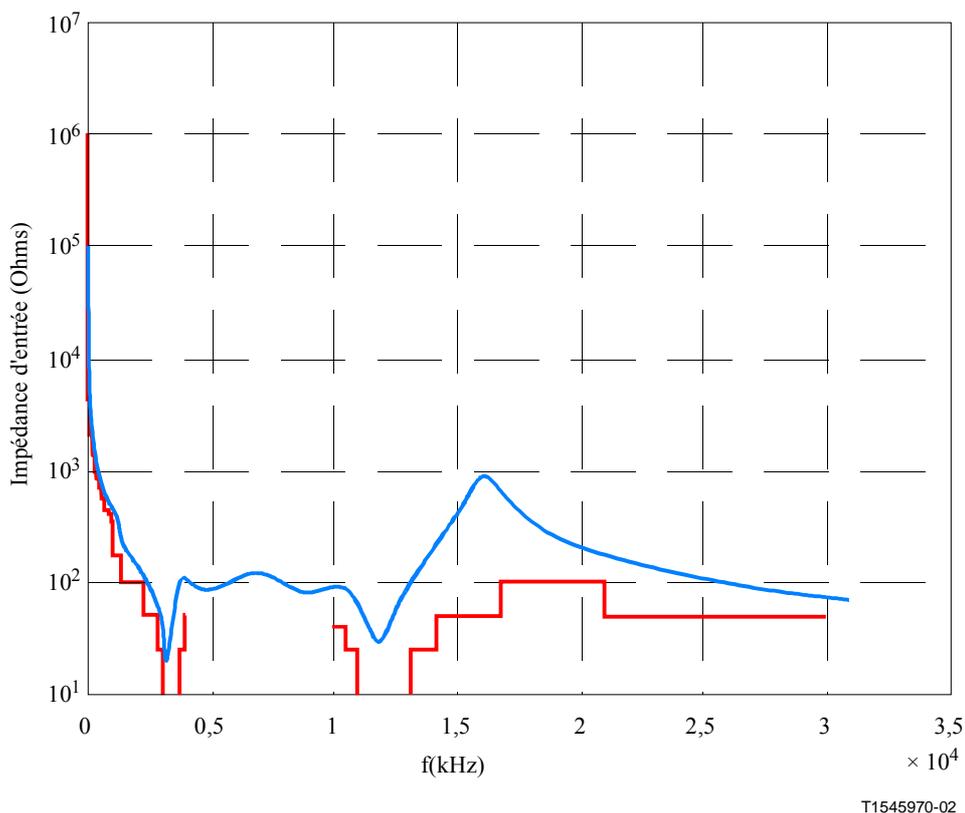


Figure 13/G.989.2 – Exemple d'impédance d'entrée (pour information)

6 Spécification du protocole de la couche Liaison

6.1 Aperçu général

Le présent paragraphe définit les procédures qui implémentent les fonctions de commande de liaison suivantes:

- négociation de débit;
- intégrité de la liaison;
- annonce de capacités;
- demande de répétition automatique limitée (LARQ, *limited automatic repeat request*).

Ces fonctions de liaison utilisent des trames de commande pour véhiculer des messages de protocole entre les stations. La présente Recommandation décrit un mécanisme normalisé pour la commande de réseau de couche Liaison et l'encapsulation. Les trames de commande sont des trames de couche Liaison de données identifiées par la valeur de type Ethernet 886C₁₆ figurant dans le champ type/longueur de la trame; elles sont subdivisées en sous-types individuels. Les trames de commande de liaison ne sont pas visibles au niveau de la couche 3 (IP) de la pile réseau et ne sont pas relayées entre segments de réseau PNT.

6.2 Format de trame de base de la couche Liaison

Une trame de commande de liaison peut avoir deux formats de base correspondant à un sous-type court et à un sous-type long. Le format du sous-type court peut être utilisé par des trames de commande lorsque les informations de commande ont une longueur inférieure à 256 octets. Le format du sous-type long est utilisé pour des trames de commande dont les informations de commande ont une longueur supérieure à 255 octets.

NOTE – Les trames de commande et d'encapsulation décrites dans la présente Recommandation utilisent le format du sous-type court.

6.2.1 Format court

Tableau 5/G.989.2 – Trame de protocole de liaison avec format court

Champ	Longueur	Explication
DA	6 octets	Adresse Ethernet de destination
SA	6 octets	Adresse Ethernet source
Ethertype	2 octets	886C ₁₆
SSType	1 octet	0 Non normalisé 1 Trame de commande de demande de débit 2 Trame courte d'intégrité de liaison 3 Annonce de capacités 4 LARQ 5 Type de format court propre au fournisseur 6-127 Réserve pour une utilisation future par l'UIT-T (Voir Note)
SSLength	1 octet	Nombre d'octets d'informations de commande, allant du champ SSVersion (ou du premier octet suivant le champ SSLength en l'absence du champ SSVersion) jusqu'au deuxième (et dernier) octet du champ Next Ethertype. Les valeurs appartiennent à l'intervalle 2 – 255.
SSVersion	1 octet	Numéro de version des informations de commande
Données	0-252 octets	Informations de commande
Next Ethertype	2 octets	Ethertype/longueur du protocole de couche suivant; 0 si aucun
Pad	41-0 octets	Remplissage nécessaire pour atteindre le minimum si la longueur des données est inférieure à < 41 octets
FCS	4 octets	Séquence de contrôle de trame
NOTE – Les valeurs de SSType de 128 à 255 correspondent au sous-type long.		

Le champ SSVersion spécifie la version du format utilisé pour les informations de commande. Ceci permet une extension future pour chaque type SSType.

Les récepteurs vérifieront la longueur SSLength pour garantir que des informations de commande suffisantes sont présentes. Il est possible que de nouvelles versions de format de trame, avec compatibilité vers l'amont, puissent contenir des champs de données fixes supplémentaires, mais elles doivent contenir les champs fixes spécifiés dans les formats antérieurs à des fins de compatibilité vers l'amont.

Les récepteurs interpréteront les trames correspondant à tous les types SSType pris en charge, en utilisant la dernière version SSVersion prise en charge dont le rang est inférieur ou égal à celui de la version indiquée dans la trame reçue. Les données encapsulées de (nouvelles) versions SSVersion correspondant à des trames d'encapsulation dont le type SSType est pris en charge seront transmises à la couche supérieure.

Le champ Next Ethertype est nécessaire pour tous les en-têtes de trame de commande de liaison qui utilisent le format court. Il prendra en charge, entre autres, la compatibilité vers l'amont en activant les récepteurs de manière à retirer dans tous les cas les en-têtes de couche Liaison en format court.

Si le champ Next Ethertype est nul, la trame est alors une trame de commande de base et doit être supprimée après le traitement des informations de commande qu'elle contient. Le champ Next Ethertype occupe toujours les deux derniers octets de l'en-tête de commande. La position de ce champ sera déterminée en utilisant le champ SSLength afin d'assurer la compatibilité vers l'aval.

Si le champ Next Ethertype n'est pas nul, la trame est alors une trame de commande avec *encapsulation*. Une trame de données encapsulée est une trame de commande avec encapsulation dont le champ Next Ethertype n'est pas égal à 0000₁₆ ou 886C₁₆. Les récepteurs G.989.2 seront en mesure de supprimer au moins un en-tête de commande de liaison en format court avec encapsulation dans toute trame de données encapsulées reçue. Il est possible que des versions futures de la présente Recommandation exigent le traitement de plusieurs en-têtes pour des trames de données encapsulées, comme cela peut se produire si une trame de commande de demande de débit est insérée (c'est-à-dire, superposée) dans une trame de données normale avec un en-tête LARQ. L'encapsulation des trames de données n'est pas autorisée lorsque le type Next Ethertype est limité par la spécification à la valeur 0000₁₆ pour les types SStype ou LStype pour une trame de commande de couche Liaison spécifique et que ce type de trame de commande de couche Liaison est utilisé. Le seul type de trame de couche Liaison qui prenne en charge l'encapsulation de trames de données est la trame LARQ.

La trame sera ignorée si le type SStype n'est pas reconnu par le récepteur (ce qui sera éventuellement indiqué par de futures options de l'annonce CSA). Il convient de noter que tous les nœuds ont l'obligation de reconnaître le type SSTYPE du protocole LARQ (sans avoir l'obligation d'implémenter ce protocole). Comme le type SSTYPE LARQ est le seul qui puisse encapsuler des charges utiles de données, les transmissions G.989.2 n'auront jamais à rejeter des charges utiles en raison de valeurs inconnues du type SSTYPE.

L'en-tête et la queue des trames Ethernet normalisées sont représentés en grisé afin de mettre en évidence les formats des trames d'informations de commande.

6.2.2 Format long

Tableau 6/G.989.2 – Trame de protocole de liaison avec format long

Champ	Longueur	Explication
DA	6 octets	Adresse Ethernet de destination
SA	6 octets	Adresse Ethernet source
Ethertype	2 octets	0886C ₁₆
LStype	2 octets	32768 Réserve pour une utilisation future par l'UIT-T 32769 Format long propre au fournisseur 32770 à 65535 Réserve pour une utilisation future par l'UIT-T
LSLength	2 octets	Nombre d'octets d'informations de commande, allant du champ SSVersion (ou du premier octet suivant le champ SSLength en l'absence du champ SSVersion) jusqu'au deuxième (et dernier) octet du champ Next Ethertype. Les valeurs appartiennent à l'intervalle 2-65535.
LSVersion	1 octet	Numéro de version des informations de protocole suivantes
Données	LSLength – 3 octets	Données dépendant du protocole LStype
Next Ethertype	2 octets	Ethertype/longueur du protocole de couche suivant; 0 si aucun
Pad	42-0 octets	Remplissage pour la taille minimale
FCS	4 octets	Séquence de contrôle de trame

Une version LSVersion, comparable à la version SSVersion, est utilisée pour les sous-types du format long. Un champ Next Ethertype est requis pour tous les sous-types du format long. La trame sera ignorée si le sous-type du format long (valeur du type LSType) n'est pas reconnu par le récepteur (ce qui sera éventuellement indiqué par de futures options de l'annonce CSA). Les prescriptions de traitement concernant la compatibilité vers l'aval, le rejet de types de trame non reconnus avec Next Ethertype = 0000₁₆ et la suppression des en-têtes de format long avec Next_Ethertype ≠ 0000₁₆ sont les mêmes que pour les en-têtes de trame de commande avec format court.

6.2.3 Ordre de transmission

La transmission des champs de la trame se fait du haut vers le bas pour chaque tableau.

Dans chaque champ, l'octet le plus significatif est transmis en premier et le bit LSB de chaque octet l'est également. Les octets suivants du champ sont transmis dans l'ordre de signification décroissant.

Lorsqu'un tableau représente des sous-champs, l'ordre représenté correspond à une signification décroissante du haut vers le bas du tableau.

6.3 Fonction de commande de négociation du débit

La fonction de négociation du débit dans une station destinatrice utilise des trames de commande de demande de débit (RRCF, *rate request control frame*) pour fournir à une station source des informations de codage de la charge utile que cette station devra utiliser pour le codage des trames émises ultérieurement dans cette direction, ainsi que pour générer des trames d'essais permettant d'assister un récepteur dans le choix de la bande la plus adéquate.

NOTE – La politique utilisée par la station destinatrice pour sélectionner le codage souhaitable pour la charge utile et la politique qu'elle utilise pour décider de l'instant d'émission des trames de commande de demande de débit sont en dehors du domaine d'application de la présente Recommandation. Le codage utilisable dépend en général de la qualité du canal entre la source et la destination; cette qualité varie en général pour chaque couple de stations en fonction de la topologie du câblage et des perturbations propres au canal.

6.3.1 Format de trame de commande de demande de débit (RRCF)

La trame RRCF spécifie une constellation maximale (nombre de bits par symbole) que le récepteur (adresse ReqDA) souhaite utiliser dans un mode donné; elle indique également quels sont les modes pris en charge. La modulation de la charge utile est définie dans le § 5.2. (Voir Tableau 7.)

Tableau 7/G.989.2 – Définition de la trame de commande de demande de débit

Champ	Longueur	Signification
DA	6 octets	Adresse Ethernet de destination
SA	6 octets	Adresse Ethernet source
Ethertype	2 octets	886C ₁₆
SSType	1 octet	= 1
SSLength	1 octet	Nombre d'octets d'informations de commande, allant du champ SSVersion jusqu'au deuxième (et dernier) octet du champ Next Ethertype. La valeur minimale de SLength est égale à 8 pour la version SSVersion 0.
SSVersion	1 octet	= 0
OpCode	1 octet	Code d'opération pour ce message de commande, se référer aux définitions du Tableau 9.

Tableau 7/G.989.2 – Définition de la trame de commande de demande de débit

Champ	Longueur	Signification
ModeNum	1 octet	Ce champ de commande spécifie le numéro de mode auquel correspond un descripteur de deux octets. – Le mode 1 indique le mappage de symbole 4D; – le mode 2 indique le mappage de symbole 2D. Les stations G.989.2 ignoreront les valeurs de mode autres que 1 et 2.
NumAddr	1 octet	Nombre d'adresses spécifiées dans la charge utile de ce message de commande. La valeur de NumAddr peut être nulle. L'adresse source de l'en-tête Ethernet est utilisée dans tous les cas, elle est appelée RefAddr0 dans les paragraphes qui suivent.
Mode1_PE	1 octet	Mappage de symbole 4D avec porteuse à 7 MHz: valeur du codage de la charge utile employé pour émettre les données lorsque le mode de mappage de symbole 4D est sélectionné. Les valeurs valides sont comprises entre 1 et 7, limites comprises.
Mode1_rank	1 octet	Ordre de préférence du rang pour les demandes ReqDA pour ce mode. La préférence la plus élevée est égale à 1, les autres modes se voient attribuer successivement des valeurs de rang croissant; les modes ont tous des rangs différents.
Mode2_PE	1 octet	Optionnel, présent uniquement si ModeNum = 2. Mappage de symbole 2D avec porteuse à 7 MHz: s'il est présent, ce champ contient la valeur du codage de charge utile qui doit être utilisé pour émettre des données lorsque le mode de mappage de symbole 2D est sélectionné. Les valeurs valides sont (0, 9..15).
Mode2_rank	1 octet	Optionnel, présent uniquement si ModeNum = 2. Ordre de préférence du rang pour les demandes ReqDA pour ce mode.
RefAddr1	6 octets	Optionnel, présent si NumAddr ≥ 1. Deuxième adresse MAC pour laquelle sont spécifiés les débits; seuls les types d'adresse de diffusion générale et de multidiffusion sont autorisés.
RefAddr2	6 octets	Optionnel, présent si NumAddr ≥ 2. Troisième adresse MAC pour laquelle sont spécifiés les débits; seuls les types d'adresse de diffusion générale et de multidiffusion sont autorisés.
• • •		(Autres instances de l'adresse RefAddr, jusqu'à ce que leur nombre soit égal à NumAddr).
Next Ethertype	2 octets	= 0
Pad		Si nécessaire pour atteindre la taille minFrameSize
FCS	4 octets	Séquence de contrôle de trame

Les stations G.989.2 ignoreront les valeurs de mode au delà de ModeNum = 2. Si un récepteur ne spécifie pas de mode dans une trame RRCF ou spécifie un codage de charge utile nul pour un mode, les émetteurs n'utiliseront alors pas ce mode. Il est possible d'omettre la spécification des modes uniquement si aucune information de mode ne suit.

Les champs ModeNum et NumAddr sont adjacents, de sorte que tous les champs fixes peuvent être référencés par des déplacements connus au sein de la trame.

Le Tableau 8 décrit les valeurs assignées pouvant être utilisées dans les lignes de description de mode dans la trame de commande de demande de débit.

Tableau 8/G.989.2 – Valeurs de PE pour les trames de commande de demande de débit

PE	Débit de données	Signification
0	N/A	Non normalisé
1	4 Mbit/s	Mappage de symbole 4D, QAM, 2 bits par symbole
2	6 Mbit/s	Mappage de symbole 4D, QAM, 3 bits par symbole
3	8 Mbit/s	Mappage de symbole 4D, QAM, 4 bits par symbole
4	10 Mbit/s	Mappage de symbole 4D, QAM, 5 bits par symbole
5	12 Mbit/s	Mappage de symbole 4D, QAM, 6 bits par symbole
6	14 Mbit/s	Mappage de symbole 4D, QAM, 7 bits par symbole
7	16 Mbit/s	Mappage de symbole 4D, QAM, 8 bits par symbole
8	N/A	Non normalisé
9	8 Mbit/s	Mappage de symbole 2D, QAM, 2 bits par symbole
10	12 Mbit/s	Mappage de symbole 2D, QAM, 3 bits par symbole
11	16 Mbit/s	Mappage de symbole 2D, QAM, 4 bits par symbole
12	20 Mbit/s	Mappage de symbole 2D, QAM, 5 bits par symbole
13	24 Mbit/s	Mappage de symbole 2D, QAM, 6 bits par symbole
14	28 Mbit/s	Mappage de symbole 2D, QAM, 7 bits par symbole
15	32 Mbit/s	Mappage de symbole 2D, QAM, 8 bits par symbole

Le Tableau 9 décrit les valeurs pouvant être utilisées dans les champs OpCode de la trame de commande de demande de débit.

Tableau 9/G.989.2 – Valeurs de OpCode pour les trames de commande de demande de débit

OpCode	Signification
0	Demande de modification de débit
1	Demande d'essai de débit
2	Réponse à un essai de débit
3-255	Réservé

6.3.2 Aperçu général de la négociation de débit

Les termes suivants sont utilisés dans la description des procédures de négociation de débit:

spécification de mode codage de charge utile (PE, *payload encoding*) et rang associés à un mode donné. Un **mode** est une combinaison non ambiguë d'un mappage de symbole et d'un débit. La présente Recommandation définit deux modes;

canal logique, canal flux de trames, envoyé par un émetteur à destination d'un ou de plusieurs récepteurs sur un segment réseau unique, constitué de l'ensemble des trames utilisant une seule combinaison d'adresses source et de destination;

récepteur	station qui reçoit des trames émises sur un canal donné. Il existe au plus un récepteur si la destination est une adresse unique. Il peut y avoir plusieurs récepteurs si la destination est un groupe d'adresses (y compris de diffusion);
codage de charge utile du récepteur	codage de charge utile utilisé de préférence sur ce canal, tel qu'il est indiqué par le récepteur ;
RRCF	trame de commande de demande de débit. Emis par le récepteur à destination de l' émetteur afin d'effectuer une modification dans le codage de la charge utile;
RefAddr0	adresse source figurant dans l'en-tête Ethernet de la trame RRCF. Il s'agit de l'adresse de destination du récepteur (pour le canal) qui est toujours utilisée par le canal émetteur comme première adresse RefAddr traitée;
RefAddr1..RefAddr<n>	autres adresses, incluant des adresses de diffusion générale ou de multidiffusion pour lesquelles le récepteur indique à l' émetteur des informations de débit. L'adresse de station du canal récepteur (RefAddr0) ne doit pas figurer dans la liste des adresses RefAddr supplémentaires; NOTE – Un champ RefAddr au moins est nécessaire pour prendre en charge la négociation de débit pour les adresses de diffusion et de multidiffusion, étant donné qu'elles ne peuvent pas être utilisées comme adresse d'origine dans l'en-tête Ethernet.
émetteur	station émettant sur un canal, en général celle qui correspond à l'adresse MAC source;
codage de charge utile de l'émetteur	codage de charge utile utilisé de préférence sur un canal, tel qu'il est noté par l' émetteur .

6.3.2.1 Canaux

La négociation de débit est définie pour des canaux logiques simplex. Un canal distinct est défini pour chaque combinaison d'adresse Ethernet source et de destination. Il n'existe pas de procédure explicite d'établissement de canal. Un nouveau canal est défini de manière implicite lorsqu'un paquet est reçu en provenance d'une nouvelle adresse source ou émis vers une nouvelle adresse de destination. Chaque canal possède un **émetteur** unique et peut posséder plusieurs **récepteurs** indépendants.

6.3.2.2 Emission des trames RRCF

Les trames de commande de demande de débit (RRCF) doivent être émises (pour tous les codes OpCode) avec une priorité correspondant à la priorité 7 de couche Liaison. Les trames RRCF ne seront jamais émises avec une priorité 6 de couche Liaison. Ces trames peuvent être émises avec une priorité de couche Liaison plus faible appartenant à l'ensemble [5, 4, 3, 0]. La priorité de couche Liaison d'une trame RRCF ne sera toutefois jamais inférieure à la priorité de couche Liaison la plus élevée reçue lors des 2 dernières secondes en provenance de la station à destination de laquelle la trame RRCF va être émise. Les demandes de modification de débit (OpCode = 0) seront toujours émises en modulation QAM avec un mappage de symbole 4D et 2 bits par symbole (PE = 1). La sélection du codage pour les trames de demande d'essais de débit et pour les trames de réponse correspondantes est décrite ci-dessous.

6.3.2.3 Temporisation d'intervalle

Chaque station gèrera une temporisation d'une valeur égale à 128 secondes. Aucune synchronisation n'est faite entre les stations pour cette temporisation. L'écoulement de la temporisation ne sera pas modifié par la réception ou l'émission des trames. L'intervalle de temporisation est utilisé pour déterminer quels sont les nœuds qui ont eu une activité d'émission à destination d'adresses de multidiffusion ou diffusion générale (se référer au § 6.3.3.2) ainsi qu'au moment de l'émission de trames RRCF de rappel faisant référence à des adresses de multidiffusion ou générale (se référer au § 6.3.4.1).

6.3.3 Fonctionnement de l'émetteur

6.3.3.1 Emetteur – Emission des trames de données

L'émetteur gèrera une table contenant les informations d'état du canal logique. Ces informations indiquent le type de nœud (par exemple, G.989.2 ou inconnu) ainsi que les codages de charge utile de l'émetteur et du récepteur pour chaque mode pour lequel ces informations ont été spécifiées. L'émetteur déterminera son codage de charge utile en consultant la table lorsqu'il émet une trame. Un élément de la table peut être créé, si nécessaire, pour un nouveau canal avec une valeur par défaut PE = 1 pour le codage de charge utile en émission.

6.3.3.2 Emetteur – Réception d'une demande de modification de débit (RRCF OpCode 0)

Pour chacune des adresses RefAddr figurant dans la trame RRCF, en commençant par l'adresse RefAddr0 indiquant la source de la trame RRCF, la station mettra à jour la valeur du codage de charge utile de l'émetteur conformément à la spécification du mode figurant dans la trame RRCF. Si aucune information d'état de canal logique n'existe pour l'adresse RefAddr0, la station procédera alors à la création d'un nouvel élément d'état de canal logique et initialisera le codage de charge utile de l'émetteur conformément à la spécification du mode figurant dans la trame RRCF. Si aucune information d'état de canal logique n'existe pour des adresses RefAddr supplémentaires, la station peut alors, soit ignorer ces dernières, soit procéder à la création de nouveaux éléments d'état de canal logique et initialiser le codage de charge utile de l'émetteur conformément à la spécification du mode figurant dans la trame RRCF.

Pour les adresses de multidiffusion et l'adresse de diffusion générale, les émetteurs doivent utiliser un mode qui peut être reçu par tous les nœuds qui se trouvent en écoute active sur une telle adresse. Les stations émettrices peuvent faire respecter un codage de charge utile minimal qu'elles utiliseront pour émettre sur un canal à multidiffusion donné, en fonction d'informations de qualité de service fournies au niveau application. Il est souhaitable d'émettre avec le débit maximal pris en charge par le canal. Il s'ensuit que si une adresse RefAddr est une adresse de multidiffusion ou l'adresse de diffusion générale, l'émetteur doit alors utiliser la valeur de codage de charge utile qui fournit le débit binaire le plus élevé, mais qui n'est pas supérieur aux spécifications de bande fournies par les nœuds qui se trouvent en écoute active sur cette adresse. On considérera qu'une station est en écoute active pour une multidiffusion si elle a procédé lors des deux derniers intervalles de 128 secondes à l'une des actions suivantes:

- émission d'une trame quelconque à destination de l'adresse de multidiffusion;
- émission d'une trame RRCF à destination de cette station en utilisant l'adresse de multidiffusion figurant dans la liste de l'adresse RefAddr.

On considérera qu'une station est en écoute active pour la diffusion générale si elle a procédé lors des deux derniers intervalles de 128 secondes à l'une des actions suivantes:

- émission d'une trame quelconque à destination de l'adresse de diffusion générale;
- émission d'une trame RRCF à destination de cette station en utilisant l'adresse de diffusion générale figurant dans la liste de l'adresse RefAddr.

6.3.3.3 Émetteur – Réception d'une trame de demande d'essais de débit (RRCF OpCode 1)

L'émetteur générera, pour chaque mode pris en charge, une trame de réponse à un essai de débit (RRCF OpCode 2) destinée au demandeur et codée comme spécifié par le codage de la charge utile. La trame RRCF contiendra les informations actuelles d'état du canal logique.

La prise en charge des trames de demande d'essais de débit est requise uniquement pour les stations qui implémentent simultanément les modes 1 et 2. Les stations qui implémentent uniquement le mode 1 peuvent ignorer les trames de demande d'essais de débit reçues et ne pas émettre de réponse.

6.3.3.4 Émetteur – Nœuds G.989.2 actifs

Un nœud G.989.2 correspond à toute station en provenance de laquelle une trame valide a été reçue lors des deux derniers intervalles de 128 secondes.

6.3.4 Fonctionnement du récepteur

6.3.4.1 Récepteur – Réception d'une trame

Les récepteurs utiliseront des moyens permettant de limiter le nombre de trames RRCF générées. Ils utiliseront la procédure définie dans le présent paragraphe, ou une autre procédure qui ne génère pas plus de trames RRCF que la procédure décrite.

Les stations qui sont intéressées par la réception des trames destinées à une adresse de multidiffusion spécifique ou à l'adresse de diffusion générale utiliseront un mécanisme qui garantit que toutes les sources des trames destinées à cette adresse de multidiffusion (ou à l'adresse de diffusion générale) reçoivent au moins une fois toutes les 128 secondes un rappel du souhait de ce nœud concernant les trames en question (se référer au § 6.3.3.2).

6.3.4.2 Récepteur – Emission d'une trame de demande d'essais de débit (RRCF OpCode 1)

Un récepteur peut émettre de manière périodique, mais avec une fréquence qui ne dépasse pas une demande toutes les 128 secondes (avec l'exception décrite ci-dessous), une trame de demande d'essais de débit destinée à un émetteur, afin de déterminer si le canal peut prendre en charge une bande différente. Les codages de bande représentent les codages dont le récepteur souhaiterait qu'ils soient utilisés par l'émetteur pour la génération des trames d'essais. L'adresse NumAddr sera positionnée sur 0 dans les trames de demande d'essais de débit.

Les trames de demande d'essais de débit doivent être émises avec le codage négocié pour le débit actuel sur le canal dans la direction du récepteur vers l'émetteur.

La prise en charge des trames de demande d'essais est requise uniquement pour des stations qui implémentent des bandes supplémentaires en plus de la bande 1. Les stations qui implémentent uniquement cette dernière n'ont pas l'obligation de fournir un mécanisme de génération de trames de demande d'essais de débit.

6.3.4.3 Récepteur – Réception d'une trame de réponse à un essai de débit (RRCF OpCode 2)

Lorsqu'il reçoit une trame de réponse à un essai de débit, le récepteur doit utiliser les statistiques de démodulation pour cette trame, ainsi que toutes les trames de réponse à un essai de débit reçues qui utilisaient ce codage, pour évaluer la capacité de prise en charge par le canal du codage de bande qui fait l'objet de l'essai. Le récepteur ne devra pas générer de nouvelle trame de demande d'essais de débit pendant un laps de temps d'au moins 128 secondes, si la décision indique que le canal n'est pas en mesure de prendre en charge ce codage. Si la décision indique que le canal est en mesure de prendre en charge le codage de bande qui fait l'objet de l'essai, le récepteur peut alors répéter l'essai pour collecter plus de données, avec une fréquence maximale d'une trame de demande d'essais de débit par seconde pour un maximum de 16 essais supplémentaires. Le récepteur devrait générer

ensuite à destination de l'émetteur une demande de modification de débit qui spécifie le nouveau codage de bande.

La prise en charge des trames de réponse à un essai de débit est requise uniquement pour des stations qui implémentent des bandes supplémentaires en plus de la bande 1. Les stations qui implémentent uniquement cette dernière peuvent ignorer silencieusement les trames de réponse à un essai de débit qu'elles reçoivent.

6.4 Fonction d'intégrité de liaison

La fonction d'intégrité de liaison a pour objet de fournir à la station un moyen de déterminer si elle est en mesure de recevoir des trames issues d'au moins une autre station du réseau. En l'absence d'autre trafic, une station émet périodiquement une trame de commande d'intégrité de liaison (LICF, *link integrity control frame*) à destination de l'adresse MAC de diffusion générale, les intervalles entre les émissions successives étant déterminés par la méthode décrite ci-dessous.

Toutes les stations implémenteront les fonctions suivantes pour garantir avec une forte probabilité que l'un des événements suivants se produit au moins toutes les secondes:

- au moins une trame LICF est émise à partir de cette station à destination de l'adresse MAC de diffusion générale;
- au moins un paquet émis à destination de l'adresse MAC de diffusion générale est reçu en provenance d'au moins deux autres stations.

Toute station émettra en outre au moins une trame LICF toutes les 64 secondes.

La méthode suivante est utilisée:

- les stations doivent être en mesure de générer des trames d'intégrité de liaison même si elles se trouvent en mode inactif ou en sommeil. Les stations qui se trouvent dans l'un de ces modes mais qui ne veulent ou ne peuvent pas être réveillées ne doivent pas émettre de trames d'intégrité de liaison;
- un paquet de liaison peut être une trame de diffusion générale quelconque reçue avec un en-tête valide. Il est recommandé de traiter uniquement les trames LICF comme paquets de liaison G.989.2;
- chaque station gère une temporisation libre d'une périodicité d'une seconde. Aucune tentative de synchronisation entre stations ne sera faite pour cette temporisation qui ne sera modifiée par aucune transition d'état de la liaison ou par la réception d'une trame quelconque. Cette temporisation constitue la source de l'événement de débordement de temporisation utilisé ci-dessous par le tableau d'état d'intégrité de la liaison;
- chaque station gère un compteur FORCE_SEND de 6 bits qui est initialisé avec une valeur aléatoire comprise entre 30 et 63. Cette valeur d'initialisation peut être choisie une fois pour toutes au moment du démarrage du nœud et utilisée pour chaque réinitialisation du compteur FORCE_SEND, mais il est également possible de choisir une nouvelle valeur aléatoire pour chaque réinitialisation;
- chaque station contient un registre (SA1) qui peut être positionné à partir de la valeur de l'adresse source reçue dans un paquet de liaison;
- une trame LICF doit avoir une priorité correspondant à la priorité 7 de la couche Liaison;
- le codage de la charge utile d'une trame LICF sera déterminé par l'examen des informations de canal logique de la trame RRCF pour le canal de diffusion générale. Les trames d'intégrité de liaison constituent une exception à cette règle, elles ne sont pas émises en utilisant la valeur de codage de charge utile négociée actuellement mais avec la valeur PE = 1. Ceci permet à des stations qui se trouvent en mode dormant ou inactif de conserver

un statut actif sur le réseau. La réception d'une trame d'intégrité de liaison avec PE = 1 ne provoquera pas de transmission d'une trame RRCF;

- chaque station émettra une trame de commande d'intégrité de liaison (LICF) avec le format indiqué par le Tableau 11 et conformément au diagramme d'état de la Figure 14;

NOTE – Lorsqu'elles se trouvent dans le mode dormant ou inactif, les stations procéderont aux traitements d'intégrité de liaison et de réveil pour tous les paquets reçus. Aucun autre traitement des paquets reçus n'est nécessaire. Tous les traitements relatifs à la gestion de l'alimentation seront effectués sur des trames de données LARQ et non LARQ et il est clair que toutes les trames qui ne sont pas des trames de réveil sur le réseau local (WoLAN) doivent être ignorées.

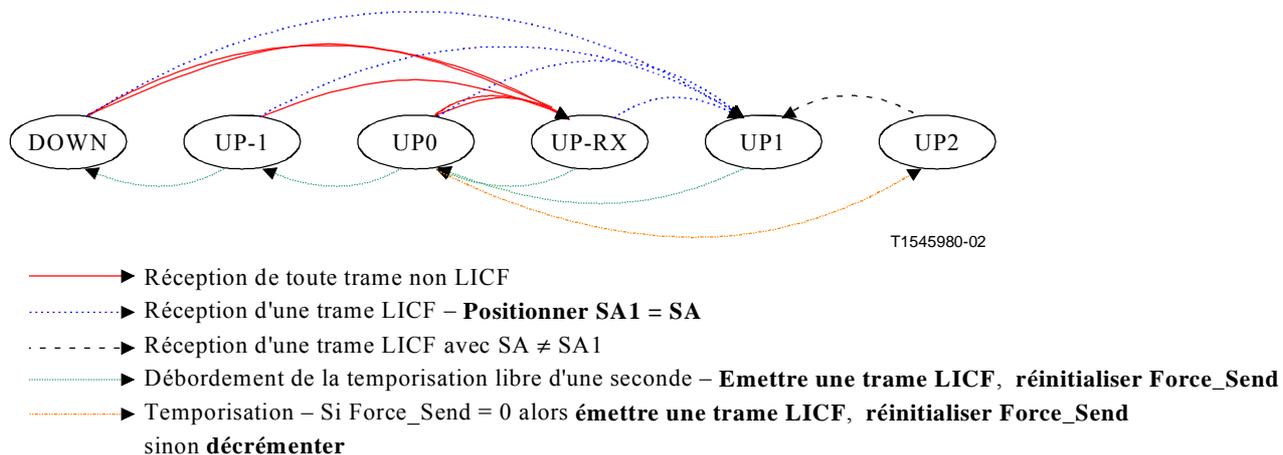


Figure 14/G.989.2 – Diagramme d'état d'intégrité de la liaison

La Figure 14 représente les transitions entre états, en omettant les événements qui ne provoquent pas de transition (et n'ont pas d'actions correspondantes) et en regroupant des événements multiples sous la forme d'une transition unique moyennant une description plus complexe de l'action.

Le Tableau 10 indique la totalité des états avec les actions associées. L'événement "débordement" correspond à l'expiration périodique d'une temporisation libre d'une seconde.

Tableau 10/G.989.2 – Automate d'intégrité de la liaison

	DOWN	UP-1	UP0	UP-RX	UP1	UP2
Réception toute trame non LICF	UP-RX (néant)	UP-RX (néant)	UP-RX (néant)	UP-RX (néant)	UP1 (néant)	UP2 (néant)
Réception LICF avec SA = SA1	UP1 SA1←SA	UP1 SA1←SA	UP1 SA1←SA	UP1 SA1←SA	UP1 (néant)	UP2 (néant)
Réception LICF avec SA ≠ SA1	UP1 SA1←SA	UP1 SA1←SA	UP1 SA1←SA	UP1 SA1←SA	UP2 (néant)	UP2 (néant)
Débordement et Force_Send = 0	DOWN	DOWN	UP-1	UP0	UP0	UP0
	Emission LICF ^{a)} , réinitial. Force_Send	Emission LICF ^{a)} , réinitial. Force_Send	Emission LICF ^{a)} , réinitial. Force_Send	Emission LICF, réinitial. Force_Send	Emission LICF, réinitial. Force_Send	Emission LICF, réinitial. Force_Send
Débordement et Force_Send > 0	DOWN	DOWN	UP-1	UP0	UP0	UP0
	Emission LICF ^{a)} , réinitial. Force_Send	Emission LICF ^{a)} , réinitial. Force_Send	Emission LICF ^{a)} , réinitial. Force_Send	Emission LICF, réinitial. Force_Send	Emission LICF, réinitial. Force_Send	Décrémenter Force_Send

^{a)} Les équipements qui peuvent émettre vers plusieurs adresses source MAC (par exemple une passerelle) émettront une trame de demande CSA à destination de l'adresse de diffusion générale à la place d'une trame LICF pour les actions figurant dans le tableau.

NOTE 1 – Etat initial: DOWN, Initialisation de Force_Send: $30 \leq \text{Force_Send} \leq 63$.

NOTE 2 – Le statut d'intégrité de la liaison est indiqué dans tout état autre que DOWN.

Tableau 11/G.989.2 – Trame courte d'intégrité de liaison

Champ	Longueur	Signification
DA	6 octets	Adresse Ethernet de destination = FF FF FF FF FF FF ₁₆
SA	6 octets	Adresse Ethernet source
Ethertype	2 octet	886C ₁₆
SSType	1 octet	= 2
SSLength	1 octet	Nombre d'octets d'informations de commande, allant du champ SSVersion champ jusqu'au deuxième (et dernier) octet du champ Next Ethertype. La valeur minimale est 4 pour la version SSVersion 0
SSVersion	1 octet	= 0
LI_pad	1 octet	Ignoré en réception
Next Ethertype	2 octets	= 0
Pad	40 octets	Toute valeur d'octet
FCS	4 octets	

6.5 Annonce de capacité et de statut

Le présent paragraphe définit des procédures de négociation, de découverte de capacités et d'annonce de statut s'appliquant à l'ensemble du réseau. Il est basé sur une diffusion générale périodique d'annonces appelées annonces de capacités et de statut (*CSA, capabilities and status announcement*) émises dans des trames de commande CSA (*CSACF, CSA control frame*). Les fanions de statut définis permettent la détermination de la version d'une station G.989.2, de capacités de fonctionnalités optionnelles et de l'utilisation de la priorité au niveau liaison, ainsi que l'émission de commandes de configuration du réseau.

Le protocole a pour objet de distribuer à toutes les stations l'ensemble complet des fanions de statut utilisés sur le réseau, de sorte qu'elles puissent les utiliser sans autre interaction pour leur prise de décisions opérationnelles.

Les stations utiliseront la trame de commande CSA décrite dans le Tableau 12 et les définitions de fanion CSA du Tableau 13. Les stations émettront une trame de commande CSA une fois par minute ou lorsqu'une modification de leur statut actuel nécessite l'annonce de nouveaux fanions (ou de leur suppression).

Tableau 12/G.989.2 – Trame d'annonce de capacités et de statut

Champ	Longueur	Signification
DA	6 octets	Adresse Ethernet de destination = FF FF FF FF FF FF ₁₆
SA	6 octets	Adresse Ethernet source, ne correspondant pas nécessairement à l'adresse MAC concernée par le contenu de la trame (se référer à l'adresse CSA_SA).
Ethertype	2 octet	886C ₁₆
SStype	1 octet	= 3
SSLength	1 octet	Nombre d'octets d'informations de commande, allant du champ SSVersion jusqu'au deuxième (et dernier) octet du champ Next Ethertype. La valeur minimale de SSLength est égale à 32 pour la version 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 3-255 Réservé pour une utilisation par l'UIT-T
CSA_MFR_ID	2 octets	Id. du constructeur du matériel: identifie le constructeur de l'implémentation du contrôleur de la couche Physique, tel qu'il est attribué par l'entité désignée par CSA_ID_Space. Ce champ est associé au numéro de composant pour identifier des implémentations spécifiques de couche Physique. Il ne s'agit pas d'un identificateur de carte ou d'agrégat.
CSA_Part_No	2 octets	Numéro de composant du constructeur du matériel: numéro de composant du circuit du contrôleur de couche Physique.
CSA_Rev	1 octet	Numéro de révision du matériel
CSA_Opcode	1 octet	0 Annonce 1 Demande

Tableau 12/G.989.2 – Trame d'annonce de capacités et de statut

Champ	Longueur	Signification
CSA_MTU	2 octets	Taille maximale, en octets, de l'unité PDU que ce récepteur peut accepter au niveau liaison; la valeur par défaut est de 1526 octets. Il s'agit de la valeur minimale qui sera publiée par une station G.989.2
CSA_SA	6 octets	Adresse MAC de la station concernée par les capacités et le statut
CSA_pad	2 octets	Réservé pour la version 0. Positionné sur 0 en émission; ignoré en réception. Son rôle est d'aligner le champ sur une limite de mot de 32 bits
CSA_CurrentTxSet	4 octets	Fanions de configuration ainsi que toutes les valeurs de statut actuellement utilisées pour cette station. Le Tableau 13 donne la définition des fanions.
CSA_OldestTxSet	4 octets	Copie des fanions d'émission les plus anciens pour ces stations, pour un laps de temps se terminant au moins une période (minute) précédemment. Le Tableau 13 donne la définition des fanions
CSA_CurrentRxSet	4 octets	Union des fanions récents reçus des autres stations. Le Tableau 13 donne la définition des fanions.
Next Ethertype	2 octets	= 0
Pad		Si nécessaire pour atteindre la taille minFrameSize
FCS	4 octets	

Une station qui émet une trame de commande CSA annonçant une modification de statut émettra une deuxième copie de la trame CSACF la plus récente peu de temps après l'émission de la première, parce qu'il est toujours possible qu'une perte de trame se produise à la suite d'une modification temporaire du canal, d'un bruit impulsionnel, etc.. Cet intervalle sera choisi de manière aléatoire entre 1 et 1000 µs.

L'émission des trames de commande CSA se fera avec une priorité correspondant à la priorité 7 de couche Liaison.

L'émission des trames de commande CSA se fera toujours à destination de l'adresse de diffusion générale (FF FF FF FF FF FF₁₆).

Le codage de la charge utile d'une trame de commande CSA sera déterminé en accédant aux informations de canal logique de la trame RRCF pour le canal de diffusion générale.

Un code d'opération de demande est défini pour permettre à une station d'obtenir rapidement des informations complètes sur l'ensemble des stations. Lorsqu'elle reçoit une trame de commande CSA contenant le code d'opération de demande, une station émettra un message CSA actuel après une courte attente, en utilisant le même mécanisme et les mêmes paramètres que pour le retard de la deuxième copie des annonces CSA décrite précédemment.

6.5.1 Trame de commande CSA

Le Tableau 12 définit le format d'une trame de commande d'annonce de statut et de capacités. Les trois premiers champs qui suivent l'en-tête Ethernet constituent l'en-tête normalisé pour les trames de commande en format court.

6.5.2 Fanions de statut, de configuration, d'option et de priorité

Le Tableau 13 contient les fanions utilisés pour les ensembles CSA_CurrentTxSet, CSA_OldestTxSet et CSA_CurrentRxSet dans les trames de commande d'annonce de statut et de capacités.

Tableau 13/G.989.2 – Fanions d'annonce CSA

Octet	Champ	Longueur	Description
Flags0	TxPriority7	1	La station transmet (transmettait) des trames avec une priorité LL 7 (toujours mis à 1).
	TxPriority6	1	Idem, priorité LL 6.
	TxPriority5	1	Idem, priorité LL 5.
	TxPriority4	1	Idem, priorité LL 4.
	TxPriority3	1	Idem, priorité LL 3.
	TxPriority2	1	Idem, priorité LL 2.
	TxPriority1	1	Idem, priorité LL 1.
	TxPriority0	1	Idem, priorité LL 0 (toujours mis à 1)
Flags1	Réservé	7	Envoyé avec la valeur 0 et ignoré par la station réceptrice
	Prise en charge du mappage de symbole 2D	1	La station prend en charge le codage de charge utile de mappage de symbole 2D.
	Réservé	8	Envoyé avec la valeur 0 et ignoré à la réception par les stations G.989.2
Flags2	G.989.2	1	Mode G.989.2
Flags3	Réservé	4	Envoyé avec la valeur 0 et ignoré par la station réceptrice
	Version G.989.2	3	000 Réservé 001 Réservé 010 G.989.2 011-111 Réservés

Trente deux bits de fanion sont pris en charge pour l'annonce des informations de statut et de configuration. Ces fanions sont divisés en trois groupes de base: les fanions de sélection de mode, les options prises en charge et les annonces de priorité de couche Liaison utilisée en émission. Ils sont ajoutés à l'état global dès qu'ils sont annoncés et supprimés lorsqu'ils ne sont plus annoncés par une station, soit par suppression explicite, soit en laissant expirer leur temporisation. Toute priorité de couche Liaison utilisée en émission restera annoncée pendant une durée d'une à deux minutes après la dernière trame effectivement émise avec cette priorité, jusqu'à ce que le mécanisme d'obsolescence en provoque la suppression dans l'ensemble CurrentTxSet.

L'ensemble de fanions de statut **par défaut** utilisé pour l'initialisation du champ **NewTxSet** (défini ci-dessous) contient par définition les priorités 0 et 7, la version de la station G.989.2 ainsi que toutes les options prises en charge.

6.5.3 Annonce de capacités et de statut – Termes et paramètres

6.5.3.1 Périodicité des capacités et du statut (période CS)

Les informations de statut non persistantes expirent après un intervalle de temps de base d'une minute. Chaque station possède une temporisation répétitive positionnée sur cet intervalle. Les temporisations ne sont pas synchronisées entre stations et une telle synchronisation doit être évitée

d'une manière générale. La description qui suit utilise le terme "période" pour définir l'intervalle de temps entre deux expirations de cette temporisation. La "période" actuelle fait référence à la durée écoulée depuis la dernière expiration de la temporisation.

Une trame CSA est émise à la fin de chaque intervalle.

6.5.3.2 Variables

Les descriptions du présent paragraphe utilisent les variables suivantes:

DeleteSet	valeur calculée utilisée pour détecter des informations de statut nouvellement supprimées.
NewRxFlags, ReallyNewRxFlags	valeurs calculées utilisées pour détecter de nouveaux fanions de statut.
CSP_Timer	temporisation libre d'une durée de 60 secondes.
RetransmitTimer	temporisation à déclenchement unique, positionné sur une valeur aléatoire entre 1 ms à 1000 ms après l'émission d'une annonce CSA dans laquelle les champs <code>CSA_CurrentTxSet</code> et <code>CSA_OldestTxSet</code> sont différents, ou lorsqu'une annonce CSA est reçue avec le champ <code>code CSA_Opcode</code> positionné sur 1 (demande). Cette temporisation est supprimée si une nouvelle annonce CSA est émise à la suite de l'expiration de la temporisation <code>CSP_Timer</code> .

6.5.4 Paramètres de statut et d'état d'ensemble de priorités

Chaque station maintient cinq ensembles de base d'informations de statut et de priorité. En outre, trois ensembles plus composites ont été définis sous la forme d'unions de plusieurs ensembles de base.

NewTxSet	ensemble des fanions annoncés durant la période CS actuelle, mis à jour immédiatement lorsqu'une nouvelle priorité de liaison est utilisée ou lorsqu'un nouveau statut volatile est positionné. Lorsque la temporisation <code>CSP_Timer</code> expire, l'ensemble <code>CurrentTxSet</code> reçoit la valeur de l'ensemble <code>NewTxSet</code> et ce dernier est réinitialisé avec l'ensemble par défaut .
PreviousTxSet	ensemble des fanions annoncés durant la période CS précédente (valeur finale de l'ensemble <code>NewTxSet</code> de la période CS précédente).
OldestTxSet	ensemble des fanions qui ont été retirés de l'ensemble <code>PreviousTxSet</code> à la fin de la période CS précédente (valeur de l'ensemble <code>PreviousTxSet</code> de la période CS précédente). Les fanions qui figuraient dans l'ensemble <code>OldestTxSet</code> et qui ne sont pas présents dans l'ensemble <code>PreviousTxSet</code> n'ont pas été utilisés activement ou détectés (par l'émetteur) pendant la totalité d'une période CS et seront supprimés. Cet ensemble est émis dans des trames CSA sous la forme du champ <code>CSA_OldestTxSet</code> .
NewRxSet	union de tous les fanions <code>CSA_CurrentTxSet</code> reçus dans des trames CSA en provenance des autres stations. Cet ensemble est transféré dans l'ensemble <code>PreviousRxSet</code> au moment de l'expiration de la temporisation <code>CSP_Timer</code> , puis réinitialisé avec l'ensemble vide.

Un fanion de statut volatile (un des fanions de priorité) de cet ensemble peut être supprimé par la suite si l'unique station qui annonçait ce fanion cesse de l'utiliser. Cette suppression au sein de l'ensemble CurrentTxSet de cette station est caractérisée par la différence par rapport à l'ensemble OldestTxSet. Le fait qu'il s'agissait de l'unique émetteur est indiqué par l'absence du fanion dans l'ensemble CurrentRxSet de cette station, ce qui dénote que cette dernière n'a reçu ce fanion d'aucune autre station.

Lorsqu'un fanion est supprimé dans l'ensemble NewRxSet, il sera également supprimé dans l'ensemble PreviousRxSet.

- PreviousRxSet** ensemble des fanions annoncés reçus durant la période CS précédente (valeur terminale de l'ensemble NewRxSet de la période CS précédente). Un fanion peut être supprimé dans cet ensemble, comme décrit précédemment pour l'ensemble NewRxSet.
- CurrentTxSet** ensemble des fanions qui ont été annoncés durant la période CS précédente, complété par tout nouveau fanion de statut et de priorité (ou fanion de configuration ou d'option modifié) utilisé durant la période CS actuelle, c'est-à-dire, l'union des ensembles PreviousTxSet et NewTxSet. Cet ensemble est émis dans des trames CSA sous la forme du champ CSA_CurrentTxSet.
- CurrentRxSet** union des ensembles NewRxSet et PreviousRxSet. Cet ensemble est émis dans des trames CSA sous la forme du champ CSA_CurrentRxSet.
- CurrentInUseSet** union des ensembles CurrentTxSet et CurrentRxSet. Cet ensemble est utilisé pour déterminer le mode de fonctionnement de la station et pour modifier le mappage entre la priorité LL de la trame et l'utilisation effective de la priorité PHY.

6.5.5 Fonctionnement du protocole d'annonce de capacités et de statut

6.5.5.1 Nouvelle trame en émission – Détection de priorité

Le protocole CSA ne traite pas directement les trames en émission. Lorsque le protocole LARQ est utilisé (pour les stations avec profil complet), le protocole CSA traite la **priorité LL** de la trame comme si cette dernière était transmise normalement à destination du pilote.

- a) Ajouter la **priorité LL** à l'ensemble NewTxSet si elle n'en fait pas déjà partie.
- b) Si la **priorité LL** ne faisait pas déjà partie de l'ensemble NewTxSet et ne figure pas dans l'ensemble PreviousTxSet, émettre alors une nouvelle trame de commande CSA avec le champ CSA_Opcode positionné sur 0 (annonce) et activer la temporisation RetransmitTimer. Arrêter puis réactiver cette dernière si elle était déjà active. Mettre à jour le mappage de la priorité pour le pilote.

6.5.5.2 Réception d'une trame de commande CSA

Le récepteur peut souhaiter mémoriser une copie de tout ou partie des annonces CSA les plus récentes reçues de chacune des autres stations, ce qui constitue un moyen simple de conserver la trace des capacités et du statut de ces dernières.

- a) Mémoriser (de manière optionnelle) dans une table indexée par l'adresse CSA_SA les fanions de statut et d'option de l'ensemble CSA_CurrentTxSet. Les fanions d'option sont utilisés pour choisir l'utilisation de fonctions optionnelles entre des couples de stations qui implémentent les mêmes options.
- b) Activer la temporisation RetransmitTimer si le champ CSA_Opcode de la trame est égal à 1 (demande). Il est recommandé de ne pas intervenir sur cette temporisation si elle est déjà

active; ceci n'est toutefois pas obligatoire et il est permis d'arrêter puis de réactiver cette temporisation.

- c) Si l'ensemble $CSA_CurrentTxSet$ contient un fanion qui ne fait pas déjà partie de l'ensemble $NewRxSet$, ajouter alors ce fanion à cet ensemble et vérifier si le fanion ne figure pas déjà dans l'ensemble $PreviousRxSet$. Les expressions booléennes correspondantes sont les suivantes:

$$NewRxFlags = CSA_CurrentTxSet \wedge \overline{NewRxSet} \quad (6-1)$$

$$NewRxSet = NewRxSet \vee NewRxFlags \quad (6-2)$$

$$ReallyNewFlags = NewRxFlags \wedge \overline{PreviousRxSet \vee CurrentRxSet} \quad (6-3)$$

- d) Comparer les ensembles $CSA_OldestTxSet$ et $CSA_CurrentTxSet$. Si un fanion a été supprimé et si ce fanion est également absent de l'ensemble $CSA_CurrentRxSet$, supprimer alors le fanion dans les ensembles $NewRxSet$ et $PreviousRxSet$. Les expressions booléennes correspondantes sont les suivantes:

$$DeleteSet = CSA_OldestTxSet \wedge \overline{CSA_CurrentTxSet} \wedge \overline{CSA_CurrentRxSet} \quad (6-4)$$

$$NewRxSet = NewRxSet \wedge \overline{DeleteSet} \quad (6-5)$$

$$PreviousRxSet = PreviousRxSet \wedge \overline{DeleteSet} \quad (6-6)$$

$$CurrentRxSet = NewRxSet \vee PreviousRxSet \quad (6-7)$$

- e) Mettre ensuite à jour, si nécessaire, le mappage du mode et de la priorité du réseau si l'un des ensembles $ReallyNewFlags$ ou $DeleteSet$ n'est pas vide.

NOTE – Les symboles " \vee " et " \wedge " correspondent respectivement aux opérations logiques binaires "OU" et "ET".

6.5.5.3 Débordement de la temporisation CSP_Timer

Une nouvelle période CS débute au moment du débordement de la temporisation CSP_Timer . Mise à jour des divers ensembles de statut, nouveau calcul des ensembles composites et émission d'une annonce CSA. Activer la temporisation $RetransmitTimer$ si nécessaire.

- $OldInUseSet = CurrentInUseSet$.
- Transférer l'ensemble $NewRxSet$ dans l'ensemble $PreviousRxSet$.
- Initialiser l'ensemble $NewRxSet$ avec l'ensemble vide.
- Transférer l'ensemble $PreviousTxSet$ dans l'ensemble $OldestTxSet$.
- Transférer l'ensemble $NewTxSet$ dans l'ensemble $PreviousTxSet$.
- Initialiser l'ensemble $NewTxSet$ avec l'ensemble par défaut, constitué de la version de la station G.989.2, des fanions de configuration actuels éventuels (normalement absents), des options prises en charge actuellement et de l'ensemble de priorités par défaut $\{0,7\}$.
- Mettre à jour les ensembles $CurrentTxSet$, $CurrentRxSet$ et $CurrentInUseSet$.

$$CurrentRxSet = NewRxSet \vee PreviousRxSet \quad (6-8)$$

$$CurrentTxSet = NewTxSet \vee PreviousTxSet \quad (6-9)$$

$$CurrentInUseSet = CurrentRxSet \vee CurrentTxSet \quad (6-10)$$

- Emettre une trame CSA avec le champ CSA_Opcode positionné sur 0 (annonce) et les fanions mis à jour.

- Activer la temporisation RetransmitTimer si les champs CSA_CurrentTxSet et CSA_OldestTxSet de la trame CSA qui vient d'être émise sont différents. Arrêter puis réactiver la temporisation si elle était active.
- Si un ou plusieurs fanions de statut ont été supprimés, déterminer alors de nouveau le mode de fonctionnement du réseau et la fonction de mappage de priorité résultant de la modification des fanions de statut. Cette nouvelle détermination du mode/du mappage sera effectuée si les ensembles CurrentInUseSet et OldInUseSet sont différents.

6.5.5.4 Temporisation de retransmission

Si la temporisation RetransmitTimer expire, émettre alors une trame CSA actuelle à destination de cette station avec le champ CSA_Opcode positionné sur 0 (annonce). La temporisation n'est pas réactivée.

6.5.6 Sélection du mode du réseau en fonction de l'ensemble CurrentInUseSet

Les fanions de sélection du mode du protocole CSA ont pour objet de faciliter la compatibilité avec des modes propres au fournisseur et avec de futures versions de la Rec. UIT-T G.989.3.

6.5.7 Priorités

Le procédé de mappage par défaut des priorités de la couche Liaison vers les priorités de couche Physique entraîne une légère pénalité pour la largeur de bande maximale possible, résultant des priorités PHY plus faibles dans le protocole MAC G.989.2. Cette pénalité peut devenir particulièrement lourde si le réseau véhicule uniquement du trafic de faible priorité. Le protocole CSA fournit pour cette raison des procédures permettant de modifier le mappage de faibles priorités de couche Liaison vers des priorités de couche Physique plus élevées lorsque aucune station sur le réseau n'émet de trafic affecté à ces priorités plus élevées.

Le choix de la priorité de couche Physique (PHY) pour une trame donnée se base sur la priorité de couche Liaison (LL) qui lui a été attribuée. Le § 6.5.7.3 spécifie le mappage par défaut de la priorité LL vers la priorité PHY. La priorité LL d'une trame au niveau de l'émetteur doit être véhiculée vers la station réceptrice afin de permettre un rétablissement correct du protocole de couche Liaison au niveau du récepteur. Ceci nécessite soit un mappage fixe biunivoque entre les priorités LL et PHY, soit un mécanisme de transport de la priorité LL au sein de chaque trame. Le protocole LARQ, défini dans le § 6.6, fournit le mécanisme en véhiculant la priorité LL d'une station émettrice vers une station réceptrice, ce qui permet d'utiliser un mappage des priorités LL et PHY autre que le mappage par défaut et d'atteindre de ce fait une largeur de bande maximale supérieure.

NOTE – Une station peut utiliser d'une manière optionnelle un en-tête IEEE 802.1Q pour véhiculer la priorité LL. Les stations qui ne prennent pas en charge l'en-tête IEEE 802.1Q ne comprendront probablement pas les trames qui contiennent un tel en-tête. Il est possible que ces trames ne soient pas reçues correctement par tous les destinataires concernés, à moins que l'on décide de faire prendre en charge les en-têtes IEEE 802.1Q par la totalité des récepteurs de la trame.

6.5.7.1 Trames en émission – Choix de la priorité physique

Lorsqu'une priorité de couche Physique est attribuée à une trame, toute modification de la fonction de mappage de la priorité PHY résultant de l'utilisation d'une nouvelle priorité doit avoir été effectuée au préalable. La station doit utiliser le nouveau mappage de la priorité PHY pour l'émission de la trame (et placer cette valeur dans l'en-tête de commande de trame), à moins que la trame ne contienne pas d'en-tête LARQ, auquel cas le mappage par défaut entre les couches LL et PHY sera utilisé.

6.5.7.2 Priorités des trames reçues

La priorité LL des trames reçues indiquée par les protocoles supérieurs (avant toute intervention sur les en-têtes LARQ ou IEEE 802.1Q) sera déterminée en utilisant le mappage par défaut entre les

priorités PHY et LL, avec l'exception que les stations qui ont un profil minimal indiqueront une priorité LL 0 pour toutes les trames. Le mécanisme qui garantit la priorité LL correcte pour toutes les trames reçues consiste à restaurer la priorité LL à partir de l'en-tête LARQ (ou d'une manière optionnelle, de l'en-tête IEEE 802.1Q). Le traitement de l'en-tête LARQ se fait toujours après que la priorité LL par défaut ait été assignée dans l'itinéraire de réception.

6.5.7.3 Mappage par défaut de la couche Liaison vers la couche Physique

La spécification IEEE 802.1p (qui est incorporée dans l'ISO/CEI 15802-3:1998) situe la priorité par défaut (non attribué/meilleur effort) au-dessus des priorités 1 et 2 lorsqu'un système de priorité à huit niveaux est utilisé. Il s'ensuit que la priorité 0 de couche Liaison sera mappée en dessous des priorités LL 1 et LL 2 pour l'attribution par défaut de la priorité de couche Physique. La Norme IEEE 802.1p attribue le niveau de priorité 7 pour la commande réseau et le niveau de priorité 6 pour le trafic nécessitant une latence inférieure à 10 μ s (caractérisé en général comme trafic du type vocal). Toutefois, sur des réseaux G.989.3, le niveau de priorité PHY 7 sera réservé pour le trafic nécessitant une latence inférieure à 10 μ s et le trafic de commande réseau est réacheminé vers le niveau de priorité PHY 6. La priorité 5 de couche Liaison sera réservée au trafic nécessitant une latence inférieure à 100 μ s. Il s'ensuit que le mappage par défaut des priorités LL vers PHY entraîne la permutation des priorités 6 et 7.

Pour les trames émises, l'ensemble ordonné de priorités LL [0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7] est mappé par défaut vers l'ensemble ordonné de 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] sont mappées par défaut vers les priorités LL [1, 2, 0, 3, 4, 5, 7, 6].

6.5.8 Mappage de priorité et protocole LARQ

La modification du mappage de priorité s'effectue en dessous de la couche LARQ dans la pile de protocoles et ne s'applique pas pour les champs de l'en-tête LARQ (ou, d'une manière optionnelle, de l'en-tête IEEE 802.1Q). Le mappage de priorité PHY modifié ne s'appliquera pas pour les trames de données (celles qui ne sont pas des trames de commande de liaison) sauf si un en-tête LARQ (ou, de manière optionnelle, IEEE 802.1Q) a été inséré avec la priorité LL d'origine. Le mappage de priorité PHY modifié s'applique pour les trames de commande de liaison.

6.5.9 Modification du mappage de priorité basée sur l'ensemble CurrentInUseSet

En l'absence de mappage de priorité, une station transfère la **priorité LL** d'origine vers l'émetteur, qui utilise cette valeur pour choisir conformément au mappage par défaut la priorité PHY associée. Avec la modification du mappage de priorité, les **priorités PHY attribuées par défaut** sont augmentées de manière à utiliser des priorités PHY plus élevées qui sinon resteraient inutilisées. La fonction de modification du nouveau mappage est simple. Pour chaque priorité PHY **P** qui correspond à la priorité LL utilisée, la nouvelle priorité **P'** à utiliser est égale à cette priorité augmentée du nombre de priorités plus élevées non utilisées. Si, par exemple, les priorités [1, 3, 4, 7] sont utilisées, la priorité 4 sera alors augmentée de 2 de manière à obtenir 6, puisqu'il existe deux autres priorités (5, 6) plus élevées et non utilisées. Les Tableaux 14 et 15 donnent quelques exemples explicatifs (y compris pour la traduction LL vers PHY par défaut). Les colonnes des tableaux représentent les **priorités LL** avant mappage. La partie de droite indique certains des ensembles de priorités utilisés et la partie de gauche la nouvelle devant être utilisée par le pilote.

**Tableau 14/G.989.2 – Mappage par défaut des priorités LL
vers PHY en émission (TX)**

								Priorité LL TX							
								0	1	2	3	4	5	6	7
Priorités actuelles (toutes)								Priorités PHY TX							
a	n	y	t	x	s	e	t	2	0	1	3	4	5	7	6

**Tableau 15/G.989.2 – Mappage modifié direct de priorité LL
vers PHY en émission (TX)**

								Priorité LL TX							
								0	1	2	3	4	5	6	7
Priorités actuelles (LL)								Nouvelles priorités TX PHY							
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

Les cases ombrées indiquent des mappages qui ne doivent être utilisés par aucun émetteur. S'il existe toutefois la possibilité qu'une implantation utilise en émission un mappage périmé ou une priorité qui ne fait pas partie du mappage, il convient alors d'utiliser dans tous les cas la priorité du mappage valide de niveau immédiatement inférieur.

On peut donner l'exemple détaillé suivant. Si l'ensemble CurrentInUse est [0, 1, 4, 7], les priorités PHY utilisées actuellement sont alors [2, 0, 4, 6]. Augmenter ensuite chacune de ces priorités en ajoutant le nombre de priorités supérieures absentes: 2→5, 0→4, 4→6 et 6→7. Par sécurité, toutes les priorités PHY non utilisées font également l'objet d'une modification du mappage vers la nouvelle valeur de la priorité utilisée immédiatement inférieure, ce qui donne: 1→4, 3→5, 5→6, 7→7.

Il en résulte que les priorités LL [0, 1, 4, 7] utilisées conduisent à émettre avec les priorités PHY [5, 4, 6, 7]. Un mappage complet de toutes les priorités LL ajoute les valeurs restantes du mappage modifié vers les priorités par défaut correspondant aux priorités LL non utilisées: l'ensemble LL [0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7] fournit l'ensemble PHY [5, 4, 4, 5, 6, 7, 7].

6.6 LARQ: protocole de demande de répétition automatique limitée

Le protocole de demande de répétition automatique limitée permet de réduire le taux effectif d'erreur en présence d'erreurs de trame. Il se distingue principalement d'autres protocoles similaires basés sur un numéro de séquence par le fait qu'il ne garantit pas une livraison fiable de chaque trame, mais masque les erreurs au niveau de la couche Physique en effectuant une retransmission rapide des trames. L'objectif recherché est d'augmenter de manière significative l'utilisation du réseau qui peut, au moins à l'occasion, présenter des taux d'erreur de trame (FER, *frame error rate*) de l'ordre de 10^{-2} ou pire. Il est reconnu que des protocoles tels que TCP ont des performances médiocres lorsque le taux FER devient trop élevé et que d'autres applications, telles que le multimédia sur des couches de transport par flux sont également susceptibles de présenter des performances médiocres en présence d'un taux FER élevé.

Le protocole utilise un mécanisme d'accusé de réception négatif (NACK, *negative acknowledgment*) pour les récepteurs qui peuvent demander une nouvelle transmission de trames absentes ou erronées. Il n'existe pas de mécanisme d'accusé de réception positif ni de mécanisme explicite d'établissement et de libération d'une connexion. Un mécanisme de rappel donne aux récepteurs une deuxième opportunité de détection de trames absentes lorsque des vides (temporels) relativement longs se produisent entre les trames.

Le protocole LARQ fonctionne comme une couche d'adaptation entre la couche Liaison (couche 2) et la couche réseau IP (couche 3).

Les stations implémentent le protocole LARQ au moyen d'un "canal LARQ" identifié par un triplet {adresse source, adresse de destination, priorité}. Les stations peuvent activer de manière dynamique le traitement LARQ sur un canal, en fonction d'informations concernant le taux d'erreur de trame du réseau. Il est toutefois recommandé que le protocole LARQ reste activé en permanence parce que la charge de traitement pour chaque paquet est très faible et que la complexité de la procédure d'activation et de désactivation du protocole (y compris la détermination des paramètres adéquats) contrebalancera probablement les gains de performance éventuels.

Il est recommandé que les stations implémentent le protocole LARQ, auquel cas elles utiliseront les formats de commande de trame spécifiés et les procédures définies ci-dessous.

Les stations qui n'insèrent pas d'en-tête LARQ (ou d'une manière optionnelle, d'en-tête IEEE 802.1Q) ne procéderont pas à une modification du mappage des priorités PHY et traiteront la totalité du trafic reçu avec un "meilleur effort", c'est-à-dire que la totalité du trafic sera attribuée à la priorité 0 de la couche Liaison.

Les stations peuvent décider d'ajouter des en-têtes LARQ dans les trames émises avec le fanion LARQ_NoRtx positionné sur 1, ce qui indique que la station ne retransmet pas de trames sur ce canal, mais l'ajout de l'en-tête LARQ permet à la station d'utiliser le mappage de priorité PHY modifié puisque la priorité LL des trames reçues correctement sera rétablie à partir de l'en-tête LARQ.

Toutes les stations seront en mesure de supprimer les en-têtes LARQ des trames reçues (extraction des charges utiles d'origine). En outre, si l'implémentation prend en charge des priorités LL multiples dans le traitement du protocole de réception, elle rétablira la priorité LL à partir de l'en-tête LARQ éventuel. Une station qui n'implémente pas le protocole LARQ rejettera les trames de commande LARQ ainsi que les trames dont l'en-tête LARQ indique qu'elles correspondent à une retransmission.

6.6.1 Formats de trame – En-têtes d'encapsulation

Le texte suivant utilise les termes "insérer" et "supprimer" pour les en-têtes LARQ. La définition formelle du format de trame LARQ utilise un champ Next Ethertype qui contient la valeur du type Ethertype de la trame d'origine. En pratique, les trames LARQ seront généralement créées en insérant les 8 octets débutant par le type Ethertype 886C₁₆ dans la trame d'origine entre l'adresse source de l'en-tête Ethernet et le type Ethertype de la trame d'origine. Le type Ethertype de la trame d'origine sera réutilisé comme champ Next Ethertype de la trame finale.

NOTE – L'en-tête LARQ véhicule la priorité LLC à travers le réseau. L'utilisation des en-têtes IEEE 802.1Q n'est pas requise pour cette fonction et les pilotes G.989.2 n'ont pas l'obligation d'utiliser les en-têtes IEEE 802.1Q pour véhiculer la priorité.

Tableau 16/G.989.2 – Trame de commande de rappel LARQ

Champ	Longueur	Signification
DA	6 octets	Adresse Ethernet de destination
SA	6 octets	Adresse Ethernet source
Ethertype	2 octets	886C ₁₆
SSType	1 octet	= 4
SSLength	1 octet	Nombre d'octets d'informations de commande, allant du champ SSVersion jusqu'au deuxième (et dernier) octet du champ Next Ethertype. La valeur de SSLength est égale à 6 pour la version SSVersion 0.
SSVersion	1 octet	= 0
Données LARQ_hdr	3 octets	Données d'en-tête de commande LARQ avec le bit LARQ_Ctl = 1 et LARQ_NACK = 0
Next Ethertype	2 octets	= 0
Pad	38 octets	
FCS	4 octets	Séquence de contrôle de trame

Tableau 17/G.989.2 – Trame de commande NACK LARQ

Champ	Longueur	Signification
DA	6 octets	Adresse Ethernet de destination
SA	6 octets	Adresse Ethernet source
Ethertype	2 octets	886C ₁₆
SSType	1 octet	= 4
SSLength	1 octet	Nombre d'octets d'informations de commande, allant du champ SSVersion jusqu'au deuxième (et dernier) octet du champ Next Ethertype. La valeur de SSLength est égale à 12 pour les trames Nack pour la version SSVersion 0.
SSVersion	1 octet	= 0
Données LARQ_hdr	3 octets	Données d'en-tête de commande LARQ avec le bit LARQ_Ctl = 1 et LARQ_NACK = 1..7
NACK_DA	6 octets	Adresse de destination d'origine
Next Ethertype	2 octets	= 0
Pad	32 octets	
FCS	4 octets	Séquence de contrôle de trame

Tableau 18/G.989.2 – Trame d'encapsulation LARQ

Champ	Longueur	Signification
DA	6 octets	Adresse de destination (de l'unité PDU Ethernet d'origine)
SA	6 octets	Adresse source (de l'unité PDU Ethernet d'origine)
Ethertype	2 octets	886C ₁₆
SStype	1 octet	= 4
SSLength	1 octet	Nombre d'octets d'informations de commande, allant du champ SSVersion jusqu'au deuxième (et dernier) octet du champ Next EtherType. La valeur de SSLength est égale à 6 pour la version SSVersion 0.
SSVersion	1 octet	= 0
Données LARQ_hdr	3 octets	Données d'en-tête d'encapsulation LARQ (avec le bit LARQ_Ctl = 0)
Next EtherType	2 octets	De l'unité PDU Ethernet d'origine
Charge utile	Min 46 octets	Charge utile de l'unité PDU Ethernet d'origine
FCS	4 octets	Séquence de contrôle de trame

Tableau 19/G.989.2 – Données d'en-tête d'encapsulation LARQ

Octet	Champ	Longueur	Signification
Flags0	LARQ_Mult	1 bit	Fanion de retransmission multiple, nul pour la première transmission d'une trame de données. Dans le cas d'une trame retransmise (LARQ_Rtx = 1), il est positionné sur la valeur du champ LARQ_Mult de la trame NACK qui a provoqué la retransmission. Ce fanion peut être utilisé par les récepteurs pour mesurer la durée des allers-retours associés aux processus de détection, d'accusé de réception négatif et de retransmission.
	LARQ_Rtx	1 bit	Positionné sur 0 pour la première transmission d'une trame, sur 1 en cas de retransmission. Les stations qui n'implémentent pas le protocole LARQ ignoreront toute trame de données avec ce bit positionné sur 1.
	LARQ_NewSeq	1 bit	Positionné sur 1 si l'espace de numérotation de séquence a été réinitialisé pour le canal, auquel cas les numéros de séquence plus anciens ne feront pas l'objet d'un accusé de réception négatif; positionné sur 0 en l'absence de réinitialisation.
	LARQ_NoRtx	1 bit	Positionné sur 0 si l'implémentation prend en charge la retransmission, positionné sur 1 si seule la priorité est significative. Peut être utilisé au niveau d'un canal individuel.
	LARQ_Ctl	1 bit	"0" dans un format d'encapsulation
	Priorité	3 bits	Priorité de couche Liaison de cette trame

Tableau 19/G.989.2 – Données d'en-tête d'encapsulation LARQ

Octet	Champ	Longueur	Signification
Flags1_Seq0	Réservé	4 bits	Réservé, sera positionné sur 0
	LARQ_seq_high	4 bits	4 bits de poids fort du numéro de séquence
Seq1	LARQ_seq_low	8 bits	8 bits de poids faible du numéro de séquence

Le Tableau 20 fournit une explication détaillée de l'utilisation des bits LARQ_Rtx, LARQ_NewSeq et LARQ_NoRtx.

Tableau 20/G.989.2 – Bits LARQ_Rtx, LARQ_NewSeq et LARQ_NoRtx

LARQ_Rtx	LARQ_NewSeq	LARQ_NoRtx	Interprétation
0	0	0	<p>Transmission normale sur un canal actif.</p> <p>Cette combinaison est utilisée pour la première transmission d'une trame sur un canal actif.</p> <p>Le récepteur de cette trame doit émettre un NACK pour les numéros de séquence antérieurs manquants au moment de la réception de cette trame, ou pour cette trame si elle contient un contrôle CRC erroné et si l'en-tête LARQ semble avoir une séquence correcte pour le canal.</p>
0	0	1	<p>Utilisé pour la première transmission d'une trame qui ne sera pas retransmise en réponse à un NACK.</p> <p>L'émetteur doit utiliser cette combinaison lorsqu'il ne mémorise pas la trame pour une retransmission en réponse à la réception d'un NACK.</p> <p>Si le récepteur est en mode de rétention, il émettra alors cette trame, soit lorsqu'il a reçu des trames pour la totalité des numéros de séquence précédents, soit lorsqu'il a abandonné les tentatives de réception pour la totalité des numéros de séquence précédents.</p>
0	1	0	<p>Utilisé pour la première transmission d'une trame avec un nouvel espace du numéro de séquence.</p> <p>L'émetteur utilise cette combinaison lorsqu'il n'existe pas de trames mémorisées pour le canal, à l'exception de cette trame.</p> <p>Le récepteur doit émettre à destination de la couche suivante toutes les trames pour ce canal, du fait qu'il ne sera plus possible de recevoir toute trame utilisant les numéros de séquence précédents. Le récepteur doit émettre un NACK pour cette trame, si elle contient un contrôle CRC erroné et si l'en-tête LARQ semble néanmoins avoir une séquence correcte pour le canal.</p>
0	1	1	<p>Utilisé pour la première émission d'une trame avec un nouvel espace de numéros de séquence qui ne sera pas retransmise en réponse à un NACK.</p> <p>L'émetteur utilise cette combinaison lorsqu'il n'existe pas de trame mémorisée pour le canal.</p> <p>Le récepteur doit émettre à destination de la couche suivante toutes les trames pour ce canal, du fait qu'il ne sera plus possible de recevoir toute trame utilisant les numéros de séquence précédents.</p>

Tableau 20/G.989.2 – Bits LARQ_Rtx, LARQ_NewSeq et LARQ_NoRtx

LARQ_Rtx	LARQ_NewSeq	LARQ_NoRtx	Interprétation
1	0	0	<p>Retransmission d'une trame pour ce canal.</p> <p>L'émetteur utilise cette combinaison pour une trame qui a été émise précédemment et pour la quelle un NACK demande une retransmission.</p> <p>Le récepteur acceptera cette trame si elle n'est pas un doublon. La trame sera ignorée si le récepteur ne gère pas d'état pour le canal, du fait qu'il est impossible de déterminer si cette trame est un doublon ou non. Le récepteur doit émettre un NACK pour cette trame, si elle contient un contrôle CRC erroné, mais que l'en-tête LARQ semble néanmoins avoir une séquence correcte pour le canal.</p>
1	0	1	<p>Retransmission d'une trame pour ce canal.</p> <p>L'émetteur utilise cette combinaison pour une trame qui a été émise précédemment mais qui n'a pas été mémorisée à la suite de la réception d'un NACK.</p> <p>Le récepteur acceptera cette trame si elle n'est pas un doublon. La trame sera ignorée si le récepteur ne gère pas d'état pour le canal, du fait qu'il est impossible de déterminer si cette trame est un doublon ou non.</p>
1	1	0	<p>Retransmission d'une trame pour ce canal.</p> <p>L'émetteur utilise cette combinaison s'il n'existe pas d'autre trame mémorisée plus ancienne pour le canal.</p> <p>Le récepteur acceptera cette trame si elle n'est pas un doublon. La trame sera ignorée si le récepteur ne gère pas d'état pour le canal, du fait qu'il est impossible de déterminer si cette trame est un doublon ou non. Le récepteur doit émettre à destination de la couche suivante cette trame et toutes les trames plus anciennes pour ce canal, du fait qu'il ne sera plus possible de recevoir toute trame utilisant les numéros de séquence précédents. Le récepteur doit émettre un NACK pour cette trame, si elle contient un contrôle CRC erroné, mais que l'en-tête LARQ semble néanmoins avoir une séquence correcte pour le canal.</p>
1	1	1	<p>Retransmission d'une trame pour ce canal.</p> <p>L'émetteur utilise cette combinaison s'il n'existe pas de trame plus ancienne pour le canal.</p> <p>Le récepteur acceptera cette trame si elle n'est pas un doublon. La trame sera ignorée si le récepteur ne gère pas d'état pour le canal, du fait qu'il est impossible de déterminer si cette trame est un doublon ou non. Le récepteur doit émettre à destination de la couche suivante cette trame et toutes les trames plus anciennes pour ce canal, du fait qu'il ne sera plus possible de recevoir toute trame utilisant les numéros de séquence précédents.</p>

Tableau 21/G.989.2 – Données d'en-tête de commande LARQ

Octet	Champ	Longueur	Signification
Flags0	LARQ_Mult	1 bit	Fanion de retransmission multiple. Nul dans le premier Nack émis pour un numéro de séquence donné, positionné sur 1 pour tout Nack retransmis.
	LARQ_NACK	3 bits	Comptage de NACK S'il est nul dans une trame de commande LARQ, il s'agit alors d'un rappel.
	LARQ_Ctl	1 bit	Positionné sur 1 pour le format des données d'en-tête de commande LARQ
	Priorité	3 bits	Priorité de couche Liaison de cette trame
Flags1_Seq0	Réservé	4 bits	Réservé, sera positionné sur 0
	LARQ_seq_high	4 bits	4 bits de poids fort du numéro de séquence
Seq1	LARQ_seq_low	8 bits	8 bits de poids faible du numéro de séquence

6.6.2 Protocole LARQ – Aperçu général

Les termes suivants sont utilisés dans la description des procédures LARQ:

- trame de commande** trame générée par un module de protocole LARQ dont la charge utile contient uniquement un en-tête LARQ;
- numéro de séquence actuel** nouveau numéro de séquence reçu le plus récemment pour un canal;
- trame de données** trame Ethernet normalisée dans un protocole de couche supérieure (à celle du protocole LARQ). Une station active pour le protocole LARQ encapsule la charge utile d'origine dans une trame Ethernet par l'insertion d'un en-tête LARQ (forme courte de l'en-tête de commande de données avec des données LARQ_hdr) entre l'adresse source et le reste de la trame avant le transfert de cette dernière vers le pilote à des fins de transmission sur le réseau;
- temporisation d'oubli** mécanisme propre à une implémentation permettant à un récepteur de réinitialiser l'espace de numéros de séquence d'un canal lorsqu'un numéro de séquence reçu n'est pas le numéro de séquence attendu (**numéro de séquence actuel** + 1). Une valeur par défaut d'une seconde est suggérée;
- temporisation de rétention, temporisation de perte** mécanisme de temporisation propre à une implémentation qui limite la durée pendant laquelle un récepteur conserve une trame reçue dans l'attente de la retransmission d'une trame absente. Il existe, conceptuellement, une telle temporisation pour chaque numéro de séquence manquant. La valeur de la temporisation est égale à **l'intervalle maximal de rétention**;
- canal logique, canal** flux de trame, issu d'un émetteur à destination d'un ou de plusieurs récepteurs situés sur un segment de réseau unique, constitué de toutes les trames avec une même combinaison d'adresse de destination, d'adresse source et de priorité de couche Liaison;
- NACK, Nack, nack** indication d'un émetteur à destination d'un émetteur demandant la retransmission d'une ou de plusieurs trames; s'applique également à l'action de fourniture d'une telle indication;

temporisation NACK	mécanisme de temporisation propre à une implémentation utilisé par un récepteur pour retransmettre des indications NACK concernant des numéros de séquence manquants. Il existe, conceptuellement, une telle temporisation pour chaque numéro de séquence manquant sur chaque canal logique . La temporisation est réinitialisée chaque fois qu'une indication NACK est émise pour un numéro de séquence. La valeur de la temporisation est égale à l'intervalle de retransmission de l'indication NACK ;
nouveau	un numéro de séquence est nouveau s'il est supérieur au numéro de séquence actuel pour le canal, le calcul étant fait modulo la taille de l'espace de numéros de séquence. Les nouveaux numéros sont compris entre (actuel + 1) et (actuel + 2047);
ancien	un numéro de séquence est ancien s'il est inférieur ou égal au numéro de séquence actuel pour le canal , le calcul étant fait modulo la taille de l'espace de numéros de séquence. Les anciens numéros sont compris entre (actuel – 2048) et (actuel). Il convient de noter que les anciens numéros de séquence sont également hors séquence;
hors séquence	numéro de séquence qui n'appartient pas à un domaine plausible ancien ou nouveau, du numéro de séquence actuel pour un canal logique. Il est recommandé de prendre la valeur $\pm 2 * \text{MaximumSaveLimit}$ (définie plus loin) comme "domaine plausible" pour le contrôle des numéros hors séquence;
récepteur	station qui reçoit des trames émises sur un canal donné. Il existe un récepteur au plus si l'adresse de destination est une adresse simple. Il peut y avoir plusieurs récepteurs si l'adresse de destination est une adresse de groupe (y compris de diffusion générale);
rappel	trame de commande transmise par l' émetteur du canal, avec le numéro de séquence utilisé le plus récemment pour un canal qui a été inactif pendant un intervalle de rappel après l'envoi de la trame de données la plus récente;
temporisation de rappel	mécanisme de temporisation propre à une implémentation utilisé par un émetteur pour générer une trame de rappel après une période d'inactivité pour un canal. Cette temporisation est réinitialisée chaque fois qu'une nouvelle trame est émise. Il existe, conceptuellement, une telle temporisation pour chaque numéro de séquence manquant. La valeur de la temporisation est égale à l' intervalle de rappel ;
temporisation de mémorisation	mécanisme de temporisation propre à une implémentation qui limite la durée pendant laquelle un émetteur mémorisera une trame en attente de demande de retransmission. La valeur de la temporisation est égale à l' intervalle maximal de sauvegarde ;
émetteur	station émettrice sur un canal, en général la station qui correspond à l'adresse MAC source;
numéros de séquence	des numéros de séquence sont gérés individuellement par l'émetteur pour chaque canal logique.

6.6.2.1 Canaux

Le fonctionnement du protocole LARQ est défini pour des canaux logiques simplex. Un canal logique distinct est défini pour chaque combinaison d'adresse Ethernet de destination, d'adresse Ethernet source et de priorité de couche Liaison. Il n'existe pas de procédure explicite d'établissement de canal. Un nouveau canal est défini de manière implicite lorsqu'une station décide d'émettre des trames avec encapsulation LARQ pour une nouvelle combinaison d'adresse de destination, d'adresse source et de priorité de couche Liaison. La station qui émet de telles trames (il s'agit en général du propriétaire de l'adresse source, sauf dans le cas d'une passerelle jouant le rôle d'une adresse source) est l'**émetteur** pour le canal. Chaque canal possède un seul **émetteur**. Toute station qui reçoit les trames et traite les en-têtes LARQ est un **récepteur**. Un canal peut avoir un nombre quelconque de **récepteurs** indépendants.

6.6.3 Fonctionnement de l'émetteur

6.6.3.1 Variables et paramètres

Les paragraphes qui suivent utilisent les paramètres suivants:

numéro de séquence en émission	numéro de séquence de la dernière trame de données émise;
intervalle de temporisation de rappel	intervalle fixe dont la valeur par défaut est égale à 50 μ s. Des valeurs plus faibles augmenteront la charge réseau résultant des rappels, alors que des valeurs plus élevées augmenteront la latence des trames hors séquence nécessitant une retransmission. Les implémentations n'utiliseront pas de valeurs situées en dehors de l'intervalle 25-75 μ s, basé sur des temps maximaux de 150 μ s pour la sauvegarde et la rétention;
intervalle minimal de retransmission	intervalle utilisé pour éviter des retransmissions trop fréquentes d'une trame unique, très important dans le cas de canaux avec multidiffusion. La valeur par défaut est égale à 10 μ s;
limite maximale de sauvegarde	nombre maximal de trames qui seront sauvegardées sur un canal logique donné. Cette valeur dépend de l'implémentation et varie en fonction du débit de trame maximal que l'émetteur doit prendre en charge. Des valeurs de l'ordre de 100 et plus peuvent être utiles pour des applications à haut débit telles que la vidéo;
intervalle maximal de sauvegarde	durée maximale de sauvegarde d'une trame par l'émetteur dans l'attente d'une retransmission éventuelle. La valeur par défaut est égale à 150 μ s.

6.6.3.2 Emetteur – Nouveau canal

Sélectionne, si nécessaire, des paramètres dépendants de l'implémentation.

Sélectionne une valeur initiale pour le **numéro de séquence en émission**.

6.6.3.3 Emetteur – Emission de nouvelles trames de données

Accède aux informations d'état du canal logique pour l'adresse de destination, l'adresse source et la priorité de couche Liaison de la trame.

Incrémente, modulo 4096, le **numéro de séquence en émission** (taille de l'espace de numéros de séquence).

Génère l'en-tête LARQ avec la nouvelle valeur du **numéro de séquence en émission** et le fanion de retransmission multiple positionné sur 0. Le champ priorité de l'en-tête LARQ est positionné sur la

valeur de la priorité de couche Liaison spécifiée pour la trame. La priorité sera positionnée sur 0 en l'absence d'une telle spécification. La méthode utilisée pour la spécification de la priorité et le choix d'une valeur est en dehors du domaine d'application de la présente Recommandation.

Insère un en-tête LARQ (format court de trame de commande avec des données LARQ_hdr) entre l'adresse source et le champ Ethertype/Longueur de la trame d'origine. La longueur de la nouvelle trame est supérieure de huit bits à celle de l'ancienne.

Sauvegarde une copie de la trame.

Emet la trame.

Réactiver la **temporisation de rappel** pour le canal.

Active une **temporisation de sauvegarde** pour le numéro de séquence. En l'absence d'autres limitations de ressource, une station émettrice sauvegardera normalement une trame pendant l'**intervalle maximal de sauvegarde**, qui correspond à l'**intervalle maximal de rétention** utilisé par les récepteurs LARQ.

NOTE – La priorité de couche Liaison pour la trame est déterminée par l'implémentation, par exemple en examinant la priorité IEEE 802.1P (ISO/CEI 15802-3) transférée avec les paquets dans certaines implémentations de pilote.

6.6.3.4 Emetteur – Traitement d'une trame de commande NACK

La priorité et l'adresse de destination d'origine (NACK_DA) sont extraites de l'en-tête LARQ de la trame NACK.

Accès aux informations d'état du canal logique pour le canal de l'émetteur, l'adresse de destination du canal étant l'adresse NACK_DA et l'adresse source du canal, l'adresse de destination Ethernet DA de la trame de commande Nack.

Le comptage NACK de l'en-tête LARQ indique le nombre de numéros de séquence demandés pour la retransmission. Le premier numéro de séquence indiqué est la valeur du numéro de séquence dans l'en-tête NACK, suivi des autres (NACK Count – 1) numéros de séquence. Les règles suivantes s'appliquent pour chacun des numéros de séquence indiquée en partant du premier:

- passer au numéro de séquence suivant si une copie de la trame d'origine n'est plus disponible;
- passer au numéro de séquence suivant si la dernière retransmission de la trame se trouve à l'intérieur de l'**intervalle de retransmission minimal** par rapport au temps actuel;
- préparer une copie de la trame d'origine avec son en-tête LARQ d'origine en vue d'une retransmission;
- copier la valeur du fanion de retransmission multiple de l'en-tête NACK dans l'en-tête LARQ de la trame devant être retransmise;
- positionner le fanion LARQ_Rtx sur 1;
- émettre la trame retransmise.

Ne pas effectuer de retransmission si une trame de commande Nack reçue est erronée.

6.6.3.5 Emetteur – Expiration de la temporisation de rappel

Si la **temporisation de rappel** expire, créer alors une trame de commande de rappel avec le numéro de séquence positionné sur la valeur actuelle du numéro de séquence en émission pour le canal. La priorité de cette trame est la même que celle du canal.

Emettre la trame.

Ne pas réactiver la **temporisation de rappel** pour le canal.

6.6.3.6 Emetteur – Expiration de la temporisation de sauvegarde

La **temporisation de sauvegarde** dépend de l'implémentation. Elle a pour objet de fixer une limite supérieure à la durée de sauvegarde des trames par un émetteur en vue de leur retransmission éventuelle. Des ressources de l'hôte risquent d'être gaspillées pour la sauvegarde de trames qui ne seront jamais retransmises si la valeur de cette temporisation est trop élevée.

L'implémentation de la temporisation est faite, du point de vue conceptuel, pour chaque numéro de séquence. Libérer toute ressource associée à la trame sauvegardée.

6.6.3.7 Emetteur – Gestion des ressources

Une implémentation LARQ nécessite un traitement attentif de la gestion des ressources. Ces dernières correspondent aux tampons utilisés pour la sauvegarde des données en vue de leur retransmission ainsi qu'aux tampons et aux autres ressources utilisés pour la gestion du réarrangement des trames devant faire l'objet d'une retransmission et aux diverses temporisations utilisées pour obtenir un comportement correct et un fonctionnement efficace du protocole. La gestion des ressources dépend de l'implémentation. Il est toutefois recommandé de tenir compte des directives suivantes.

Les copies des trames sauvegardées doivent être conservées pendant l'**intervalle maximal de sauvegarde** (valeur par défaut égale à 150 μ s) en dépit d'autres considérations.

La **limite maximale de sauvegarde**, nombre maximal de trames sauvegardées pour un canal, doit être une fonction du débit maximal de génération possible pour de nouvelles trames. Des équipements très lents peuvent se contenter de sauvegarder quelques trames en vue de leur retransmission. Un équipement à haut débit traitant des flux vidéo peut avoir à sauvegarder une centaine de trames ou plus pour un seul canal.

Les émetteurs qui sauvegardent un nombre réduit de trames ont une probabilité plus forte de recevoir des trames de commandes NACK pour des numéros de séquence qui ne peuvent plus être retransmis. Un tel comportement est inefficace mais ne pose pas de problèmes par ailleurs.

6.6.4 Fonctionnement du récepteur

6.6.4.1 Variables et paramètres de canal

La description du fonctionnement du protocole utilise les variables suivantes. L'implémentation effective peut varier mais le comportement ne doit pas être modifié.

numéro de séquence actuel	numéro de séquence le plus récent reçu dans un en-tête LARQ pour le canal, soit dans une trame de données, soit dans une trame de commande de rappel;
numéro de séquence manquant le plus ancien	numéro de séquence le plus ancien correspondant à une trame non encore reçue, mais qui n'a pas été déclarée comme perdue;
intervalle maximal de rétention	intervalle le plus long de rétention d'une trame dans l'attente d'une trame manquante antérieure. La valeur par défaut est la même que celle de l' intervalle maximal de sauvegarde , soit 150 μ s;
limite maximale de réception	nombre maximal de trames qu'un récepteur mémorisera dans l'attente d'une trame manquante antérieure. La valeur par défaut doit normalement être la même que la limite maximale de sauvegarde ;
intervalle de retransmission NACK	intervalle après lequel un récepteur retransmettra une trame de commande Nack pour un numéro de séquence manquant, lorsqu'il se trouve dans l'attente de retransmission de trames de commande Nack ou de trames de données précédentes qui ont été perdues. La valeur par défaut pour des implémentations fixes est égale à 20 μ s.

6.6.4.2 Récepteur – Nouveau canal

Le récepteur initialisera les informations pour un nouveau canal lorsqu'une trame de données avec un en-tête LARQ ou une trame de commande de rappel LARQ reçue contient une nouvelle combinaison d'adresse Ethernet de destination, d'adresse Ethernet source et de priorité de couche Liaison.

La principale information d'état est le **numéro de séquence actuel** pour le canal. Ce **numéro** est initialisé en prenant le numéro de séquence qui précède immédiatement celui qui se trouve dans l'en-tête LARQ de la trame reçue. Cette allocation se fait avant le traitement de la trame reçue et a pour conséquence que la trame sera considérée, soit comme la prochaine trame de données attendue, soit comme un rappel concernant la prochaine trame de données attendue.

6.6.4.3 Récepteur – Trame de données LARQ ou de rappel

Examiner les informations d'état du canal caractérisé par la combinaison d'adresse Ethernet de destination, d'adresse Ethernet source et de priorité de couche Liaison de l'en-tête LARQ (avec création d'un nouveau canal, si nécessaire).

L'état du canal peut être réinitialisé si le numéro de la trame reçue est hors séquence. Si le numéro de séquence (avant réinitialisation) est un numéro ancien, et si la temporisation d'oubli est écoulée, l'espace de séquence peut alors être réinitialisé en utilisant la valeur du numéro de séquence de la trame reçue.

Appliquer alors les étapes suivantes de traitement du nouveau numéro de séquence décrites ci-dessous si le numéro de séquence est plus récent que le **numéro de séquence actuel** (après réinitialisation éventuelle de l'espace de numéros de séquence); dans le cas contraire, appliquer les étapes de traitement de l'ancien numéro de séquence.

6.6.4.4 Récepteur – Trame LARQ contenant des erreurs de CRC ou autres

Les implémentations doivent, pour atteindre les meilleures performances, autoriser le traitement de trames erronées par le module de protocole LARQ, par exemple pour celles dont la charge utile contient des contrôles CRC erronés. Ceci permettra une émission immédiate des indications Nack, puisque le récepteur n'attendra pas la prochaine trame pour détecter l'erreur. Ce traitement fournit également une deuxième possibilité de détection des trames perdues en fin d'une séquence, alors qu'un rappel ultérieur serait la seule protection.

Les trames erronées, si elles sont utilisées, le seront uniquement pour détecter un ensemble très limité de numéros de séquence manquants sur un canal existant (il est recommandé de se limiter à une trame manquante). Il convient en particulier de traiter une trame comme une trame de commande de rappel si la trame erronée semble contenir un en-tête LARQ valide, si la combinaison d'adresse MAC de destination, d'adresse MAC source et de priorité de couche Liaison correspond à un canal logique existant et si le numéro de séquence est égal au (**numéro de séquence actuel** + 1). Il convient de noter que les trames de commande de rappel sont toujours supprimées après leur traitement.

Rejeter la trame erronée sans aucun traitement dans tous les autres cas. Ne pas établir de nouveau canal si la trame contient une erreur. Ne pas émettre de retransmission si une trame de commande Nack contient une erreur. Ne pas réinitialiser le canal (pour la numérotation de séquence) dans le cas d'une trame erronée.

6.6.4.5 Récepteur – Nouveau numéro de séquence

Rejeter la trame sans la traiter si elle contient une erreur indiquée par un pilote d'une couche inférieure, par exemple une erreur de contrôle CRC ou un numéro de séquence différent du (**numéro de séquence actuel** + 1); traiter la trame comme une trame de commande de rappel dans le cas contraire.

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 la valeur (**limite maximale de réception** – 1), répéter alors les étapes suivantes jusqu'à ce que la limite acceptable soit atteinte:

- arrêter la **temporisation de retransmission Nack** et la **temporisation de trame perdue** pour le plus ancien numéro de séquence manquant;
- s'il existe une trame sauvegardée pour le numéro de séquence suivant, livrer alors à destination de la couche suivante les trames dont la séquence est correcte, jusqu'au point pour lequel le numéro de séquence correspondant à une trame absente est atteint (il peut s'agir du prochain numéro de séquence pour le canal, égal au (**numéro de séquence actuel** + 1)). La valeur du champ priorité de l'en-tête LARQ de chaque trame est livrée à la couche suivante en même temps que la trame correspondante. La méthode de spécification de la priorité pour la couche suivante dépend de l'implémentation; elle est en dehors du domaine d'application de la présente Recommandation.

Transmettre la trame vers la couche suivante si le numéro de séquence est le prochain numéro de séquence attendu (**numéro de séquence actuel** + 1), si la trame est une trame de données correcte et s'il n'existe pas de numéros de séquence manquants plus anciens.

Emettre une ou plusieurs trames de commande Nack pour demander la retransmission des trames manquantes si le numéro de séquence est plus récent que le (**numéro de séquence actuel** + 1) ou s'il s'agit d'un rappel pour le (**numéro de séquence actuel** + 1).

- L'adresse de destination de la trame Nack est l'adresse source de la trame reçue. L'adresse source est l'adresse MAC de la station. L'adresse de destination de la trame reçue est placée dans le champ d'adresse de destination d'origine (NACK_DA) dans l'en-tête de la trame de commande NACK du protocole LARQ. Le fanion de retransmission multiple est positionné sur 0. Le premier numéro de séquence manquant est placé dans le champ numéro de séquence. La priorité de la trame de commande NACK est la même que celle du canal.
- Si plusieurs trames de commande Nack sont émises, les numéros de séquence les plus anciens seront émis en premier.
- Une **temporisation de retransmission NACK** est activée pour chaque numéro de séquence manquant, avec une valeur égale à l'**intervalle maximal de retransmission Nack**.
- Une **temporisation de perte de trame** est activée pour chaque numéro de séquence manquant avec une valeur égale à l'**intervalle maximal de rétention**.

Sauvegarder la trame s'il s'agit d'une trame de données correcte qui n'a pas été livrée à la couche suivante.

Supprimer la trame s'il s'agit d'une trame de rappel (ou d'une trame de données erronée).

Faire progresser le **numéro de séquence actuel** jusqu'à la valeur du numéro de séquence figurant dans la trame reçue.

6.6.4.6 Récepteur – Ancien numéro de séquence

Si le numéro de séquence est égal au **numéro de séquence actuel** ou plus ancien, il ne générera alors pas de trame de commande, même s'il est possible qu'il soit supprimé, retenu ou transféré vers la couche supérieure suivante, en provoquant éventuellement le transfert d'autres trames en attente. Il peut également provoquer l'arrêt de la **temporisation de retransmission Nack** ou de la **temporisation de perte de trame** associée à ce numéro de séquence.

- Supprimer la trame et abandonner tout traitement pour cette trame s'il ne s'agit pas d'une trame correcte (par exemple, avec un contrôle CRC incorrect), si son numéro de séquence est plus ancien que celui de la trame manquante la plus ancienne, s'il a déjà été reçu (doublet dans la retransmission) ou s'il s'agit d'une trame de rappel.

- Arrêter la **temporisation de retransmission Nack** et la **temporisation de perte de trame** pour ce numéro de séquence.
- Sauvegarder la trame si le numéro de séquence est différent du numéro de séquence manquant le plus ancien.
- Livrer la trame vers la couche supérieure suivante si le numéro de séquence est égal au numéro de séquence manquant le plus ancien. S'il existe une trame sauvegardée pour le numéro de séquence suivant, livrer alors à destination de la couche suivante les trames dont la séquence est correcte, jusqu'au point où le numéro de séquence correspondant à une trame absente est atteint (il peut s'agir du prochain numéro de séquence pour le canal). La valeur du champ priorité de l'en-tête LARQ de chaque trame est livrée à la couche suivante en même temps que la trame associée. La méthode de spécification de la priorité pour la couche suivante dépend de l'implémentation; elle en dehors du domaine d'application de la présente Recommandation.

6.6.4.7 Récepteur – Expiration de la temporisation de retransmission Nack

Emettre une nouvelle trame de commande Nack pour le numéro de séquence concerné si une **temporisation de retransmission Nack** expire. La priorité de cette trame est la même que celle du canal. Plusieurs numéros de séquence peuvent faire simultanément l'objet d'une telle action si leurs temporisations expirent au même moment.

Le fanion de retransmission multiple est positionné sur 1 pour les trames de commande Nack émises à la suite de l'expiration de la temporisation de retransmission.

Il convient de noter qu'il n'existe pas de limite explicite pour le nombre de trames de commande Nack émises pour un numéro de séquence donné, mais que la temporisation Nack est arrêtée si la trame est reçue ou si le numéro de séquence est considéré comme perdu.

6.6.4.8 Récepteur – Expiration de la temporisation de perte de trame

La temporisation de perte de trame dépend de l'implémentation. Elle a pour objet de fixer une limite supérieure à la durée pendant laquelle les trames sont retenues avant leur émission lorsqu'une trame est réellement perdue. Des ressources de l'hôte risquent d'être gaspillées pour l'émission de trames de commande NACK concernant des trames que l'émetteur sur le canal ne retransmettra plus. Des temporisations peuvent également être affectées dans les couches de transport supérieures. Il est fortement recommandé de respecter, comme limite supérieure, la valeur par défaut égale à 150 ms.

Le numéro de séquence est déclaré perdu au moment de l'expiration, ce qui conduit à l'arrêt de la **temporisation de retransmission Nack** et de la **temporisation de perte de trame** pour le numéro de séquence. S'il existe une trame sauvegardée pour le numéro de séquence suivant, émettre alors les trames suivantes en séquence, jusqu'au point où le numéro de séquence suivant correspondant à une trame manquante est atteint (il peut s'agir du prochain numéro de séquence attendu pour le canal).

Les temporisations sont traitées dans l'ordre de la plus ancienne à la plus récente si des **temporisations de perte de trame** expirent au même moment pour plusieurs numéros de séquence.

6.6.4.9 Récepteur – Temporisation d'oubli

La temporisation d'oubli est un mécanisme dépendant de l'implémentation qui permet à un récepteur de réinitialiser l'espace de numéros de séquence d'un canal lorsqu'un numéro de séquence reçu n'est pas celui qui est attendu (**numéro de séquence actuel** + 1) et qu'un intervalle de temps relativement long s'est écoulé depuis la réception de la dernière trame sur le canal. Après l'expiration de cette temporisation, le récepteur acceptera tout numéro de séquence inhabituel comme prochain numéro de séquence attendu, ce qui prendra en compte des réinitialisations non détectées d'autres stations, une déconnexion du réseau, etc. La définition du "numéro de séquence inhabituel" dépend de l'implémentation, mais il s'agit d'une manière générale de tout numéro de séquence ancien ou

nouveau qui n'est pas proche du numéro de séquence actuel, c'est à dire s'il en diffère de plus d'une ou d'un petit nombre d'unités. Une valeur par défaut d'une seconde est suggérée.

6.6.4.10 Récepteur – Gestion des ressources

Le récepteur souhaitera, en général, fixer des limites supérieures au nombre de trames conservées par chaque canal et au nombre de trames conservées entre canaux. Ces limites peuvent varier en fonction de la priorité du canal.

Les intervalles de temporisation peuvent varier en fonction de facteurs tels que la priorité du canal ou l'intervalle mesuré pour les retransmissions réussies.

La description donnée ci-dessus suggère l'utilisation de temporisation sur la base du numéro de séquence. Cette utilisation est faite à des fins de description et n'implique aucun mécanisme d'implémentation.

6.7 Formats propres au fournisseur

Les deux types de trame suivants (Tableaux 22 et 23) permettent de définir des extensions propres au fournisseur. Le sous-type avec format court est utilisable pour les messages courts et les en-têtes d'encapsulation, alors que le format long est utilisable pour des extensions nécessitant des messages plus longs.

Tableau 22/G.989.2 – Trame courte propre au fournisseur

Champ	Longueur	Signification
DA	6 octets	Adresse Ethernet de destination
SA	6 octets	Adresse Ethernet source
Ethertype	2 octet	886C ₁₆
SSType	1 octet	= 5
SSLength	1 octet	Nombre d'octets d'informations de commande, allant du champ SSVersion jusqu'au deuxième (et dernier) octet du champ Next Ethertype. La valeur de SSLength est ≥ 6 pour la version SSVersion 0.
SSVersion	1 octet	= 0
Vendor OUI	3 octets	Identificateur OUI (<i>organizationally unique identifier</i>) attribué par l'ISO/CEI (IEEE).
Données de commande	0-249 octets	Données de commande propres au fournisseur
Next Ethertype	2 octets	Prochain type Ethertype dans le cas d'un format d'encapsulation ou 0 dans le cas d'une trame sans encapsulation.
Pad	0-38 octets	Contenu indifférent
FCS	4 octets	

Tableau 23/G.989.2 – Trame longue propre au fournisseur

Champ	Longueur	Signification
DA	6 octets	Adresse de destination
SA	6 octets	Adresse source
Ethertype	2 octet	886C ₁₆
LSType	2 octets	= 32769
LSLength	2 octets	Nombre d'octets d'informations de commande, allant du champ LSVersion jusqu'au deuxième (et dernier) octet du champ Next Ethertype. La valeur de LSLength est ≥ 6 pour la version LSVersion 0.
LSVersion	1 octet	= 0
Vendor OUI	3 octets	Identificateur OUI attribué par l'ISO/CEI (IEEE).
Données de commande	1-65531 octets	Données propres au fournisseur
Next Ethertype	2 octets	Prochain type Ethertype dans le cas d'un format d'encapsulation ou 0 dans le cas d'une trame sans encapsulation.
Pad	40-0 octets	Si nécessaire pour atteindre la taille de trame minimale. Devrait être nul.
FCS	4 octets	

6.8 Profil minimal de prise en charge du protocole de liaison

Le profil minimal de prise en charge du protocole de liaison permet de diminuer la complexité des implémentations de la présente Recommandation. Bien que chacune des composantes du protocole fournisse une fonctionnalité importante pour l'exploitation du réseau, il est possible d'implémenter une prise en charge minimale pour certains des protocoles les plus complexes tout en conservant la compatibilité avec les implémentations qui fournissent la totalité des fonctionnalités, ceci sans pénaliser les performances globales des autres stations. La description qui suit utilisera le nom abrégé de "profil minimal". L'alternative possible est la prise en charge intégrale de tous les protocoles de liaison, appelée profil complet de prise en charge du protocole de liaison, ou d'une manière abrégée, "profil complet".

6.8.1 Limitations des stations avec profil minimal

Une station avec profil minimal peut uniquement émettre du trafic avec un meilleur effort et traitera tout le trafic reçu comme du trafic avec meilleur effort. Une telle station ne peut pas publier ou utiliser des fonctionnalités optionnelles qui pourront être définies à l'avenir. Comme elle ne prend pas en charge le protocole LARQ, une station avec profil minimal peut éventuellement constater une réduction importante du trafic d'ensemble du réseau.

6.8.2 Prise en charge des trames de protocole de liaison en format court et long, avec une compatibilité totale vers l'aval

Une station avec profil minimal sera en mesure de traiter toutes les trames de protocole de liaison G.989.2, c'est-à-dire celles dont l'en-tête Ethernet contient le type Ethertype 886C₁₆. Ceci inclut le rejet de trames de commande de sous-type inconnu et l'extraction de trames de données encapsulées de sous-type inconnu. Le champ "longueur" sera utilisé pour localiser le champ Next_Ethertype et déterminer s'il s'agit d'une trame de commande ou d'une trame de données (encapsulées).

6.8.3 Prise en charge complète de la sélection du débit et de l'intégrité de la liaison

Une station avec profil minimal implémentera la fonction d'intégrité de liaison G.989.2 normalisée, y compris la suppression des trames LICF.

Une station avec profil minimal implémentera l'ensemble complet des fonctions de sélection de débit.

6.8.4 Prise en charge minimale du protocole LARQ

Une station avec profil minimal traitera correctement les trames avec un en-tête LARQ. Elle rejettera les trames de commande reçues. Elle supprimera correctement les en-têtes LARQ dans les trames de données. En outre, si l'en-tête LARQ d'une trame de données contient un fanion de retransmission positionné, cette trame sera alors ignorée afin d'éviter les trames dupliquées ou hors séquence.

Une station avec profil minimal insérera des en-têtes LARQ dans les trames de données émises en positionnant dans ces en-têtes le fanion de priorité sur 0 et le fanion LARQ_NORtx sur 1.

La station minimale utilisera le mappage de priorité par défaut si elle insère des en-têtes LARQ.

6.8.5 Prise en charge des annonces CSA uniquement en réception

Une station avec profil minimal traite les trames de commande CSA et effectue la sélection du mode en fonction des fanions de configuration reçus. Elle utilise en particulier l'union des ensembles CSA_CurrentTxSet et CSA_CurrentRxSet comme ensemble des fanions en activité. Une station avec profil minimal n'émet pas de trame de commande CSA et ne peut pas annoncer, de ce fait, des fonctionnalités optionnelles ou utiliser des priorités autres que celles par défaut.

6.8.6 Priorité des trames émises

Une station avec profil minimal émettra uniquement, en plus des trames de commande, des trames de données normales en utilisant la priorité par défaut attribuée à la qualité de service avec meilleur effort ou non spécifiée. La valeur de la priorité de couche Liaison est égale à 0 pour cette qualité de service. Si la station n'insère pas d'en-tête LARQ, les trames de données seront alors émises en utilisant la priorité par défaut de la couche Physique pour la priorité 0 de la couche Liaison (c'est-à-dire, la priorité 2). Si des en-têtes LARQ sont insérés comme indiqué précédemment, leur champ "priorité" est alors positionné sur 0 et la station utilise la fonction de modification du mappage par défaut des priorités de couche Liaison pour déterminer la priorité effective de la couche Physique devant être utilisée pour la priorité 0 de la couche Liaison (c'est-à-dire qu'elle utilisera la priorité 2 de couche Physique).

6.8.7 Priorité des trames reçues

Une station avec profil minimal indiquera uniquement la priorité LL 0 si une priorité est indiquée pour les trames reçues, quelle que soit la priorité de couche Physique ou la valeur de priorité figurant dans un en-tête LARQ.

6.8.8 Prescriptions supplémentaires pour les stations avec profil complet

Une modification minimale est également nécessaire dans la spécification des annonces CSA des stations avec profil complet, lorsqu'elles prennent en charge des stations avec profil minimal. Toute station qui n'émet pas de trame CSA, mais qui est détectée comme étant une station G.989.2 en raison du trafic qu'elle émet, est traitée comme si elle avait publié un ensemble de fanions par défaut contenant uniquement la priorité LL 0 sans aucune option prise en charge et fonctionnant en mode G.989.2.

Annexe A

Performances du récepteur

A.1 Sensibilité

Le récepteur se conformera aux prescriptions du présent paragraphe pour des trames reçues avec une tolérance de fréquence d'horloge de ± 100 ppm.

A.1.1 Signal maximal

Le récepteur détectera avec un taux d'erreur de trame ne dépassant pas 10^{-4} , en présence d'un bruit gaussien additif d'une densité PSD inférieure à -140 dBm/Hz mesuré à l'entrée du récepteur, des trames dont la tension de crête entre pointe et nuque peut aller jusqu'à -6 dBV.

A.1.2 Sensibilité minimale

Le récepteur détectera avec un taux d'erreur de trame ne dépassant pas 10^{-4} des trames de 1518 octets utilisant un codage PE = 1 avec une tension quadratique moyenne supérieure ou égale à 2,5 mV. L'écart quadratique moyen de la tension est calculé uniquement sur la durée de présence du signal.

Le récepteur détectera au moins d'une trame de 1518 octets sur 10^4 utilisant un codage PE = 1 avec une tension d'un écart quadratique moyen inférieur à 1,0 mV.

Les deux critères supposent un bruit gaussien additif d'une densité PSD inférieure à -140 dBm/Hz, mesurée à l'entrée du récepteur et sur un canal plat.

A.2 Immunité aux interférences en bande étroite

Le récepteur démodulera des trames utilisant un codage de charge utile PE = 5 et PE = 13 (si ce dernier est implémenté) dont l'écart quadratique moyen de la tension différentielle est supérieur ou égal à 20 mV (mesuré sur l'en-tête), avec ajout d'un bruit blanc gaussien d'une densité PSD pouvant aller jusqu'à -130 dBm/Hz à l'entrée du récepteur, en présence des sources d'interférence indiquées dans le présent paragraphe.

A.2.1 Interférences en mode différentiel

Les prescriptions du présent paragraphe seront satisfaites en présence d'une source d'interférence avec tonalité unique dont les caractéristiques de fréquence et de niveau se trouvent dans les limites indiquées dans le Tableau A.1 suivant.

Tableau A.1/G.989.2 – Amplitudes des sources d'interférence galvaniques

Domaine de fréquences (MHz)	Niveau maximal de crête à crête de la source d'interférence (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

Tableau A.1/G.989.2 – Amplitudes des sources d'interférence galvaniques

Domaine de fréquences (MHz)	Niveau maximal de crête à crête de la source d'interférence (Volts)
14,0-14,35	0,28
18,068-18,168	0,5
21,0-21,45	0,5
24,89-24,99	0,5
28,0-29,7	0,5

La tension spécifiée est appliquée entre pointe et nuque à l'entrée de l'émetteur-récepteur.

A.2.2 Interférences en mode commun

Les prescriptions du présent paragraphe seront satisfaites en présence d'une source d'interférence avec tonalité unique dont les caractéristiques de fréquence et de niveau se trouvent dans les limites indiquées dans le Tableau A.2.

Tableau A.2/G.989.2 – Amplitudes longitudinales de la source d'interférence

Domaine de fréquences (MHz)	Niveau maximal de crête à crête de la source d'interférence (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	5,0
18,068-18,168	5,0
21,0-21,45	5,0
24,89-24,99	5,0
28,0-29,7	5,0

La tension spécifiée est appliquée entre la prise médiane d'un transformateur d'essais et la masse à l'entrée de l'émetteur-récepteur.

NOTE – Le taux d'élimination du mode commun du transformateur d'essais utilisé pour l'insertion du signal sera supérieur à 60 dB jusqu'à une fréquence de 100 MHz.

A.3 Marges du système

L'Annexe B spécifie dix boucles d'essais qui seront utilisées pour vérifier les performances du récepteur. Les perturbations suivantes seront appliquées pour chaque boucle d'essais: atténuation supplémentaire (plate), ajout d'un bruit blanc gaussien, sources d'interférence à bande étroite et bruit impulsionnel à 120 Hz ("bruit d'atténuateur de lumière").

Le taux d'erreur de trame (FER, *frame error rate*) indiqué pour chaque ligne du tableau sera atteint pour le codage de charge utile spécifié lorsque le niveau de perturbation devient supérieur à la valeur qui figure dans une case correspondant à une boucle.

On définit également une prescription de marge système pour un canal unique avec variation dans le temps.

Un caractère "-" dans une case du tableau indique l'absence de prescription pour les conditions spécifiées.

A.3.1 Perturbations provoquées par une atténuation

Le Tableau A.3 ci-dessous décrit l'atténuation supplémentaire appliquée en série sur la boucle de câblage spécifiée.

Tableau A.3/G.989.2 – Réglages pour l'atténuation supplémentaire

Essai	Réglages de l'atténuateur de perturbation (dB)					
	Numéro de boucle					
	1	4	5	6	8	9
PE = 1 FER = 10^{-2}	34	16	22	11	12	18
PE = 1 FER = 10^{-3}	33	15	21	10	11	17
PE = 5 FER = 10^{-2}	30	9	18	6	8	–
PE = 5 FER = 10^{-3}	29	8	17	5	7	–

A.3.2 Perturbations par ajout de bruit blanc

L'atténuateur est étalonné à 0 dB (Tableau A.4) pour un bruit blanc d'un niveau -70 dBm/Hz. La sortie de l'atténuateur de bruit sera ajoutée à l'entrée du récepteur. Pour la boucle 1, une atténuation de 20 dB sur un canal plat sera ajoutée en série dans la boucle.

Tableau A.4/G.989.2 – Réglages d'atténuation du bruit blanc

Essai	Réglages de l'atténuateur de perturbation (dB)					
	Numéro de boucle					
	1	4	5	6	8	9
PE = 1 FER = 10^{-2}	42	40	36	46	43	39
PE = 1 FER = 10^{-3}	43	41	37	47	44	40
PE = 5 FER = 10^{-2}	58	57	53	63	60	–
PE = 5 FER = 10^{-3}	59	58	54	64	61	–

A.3.3 Perturbations par interférence en bande étroite

L'atténuateur est étalonné à 0 dB (Tableau A.5) pour une amplitude de crête à crête égale à 2,0 volts pour 7,0 et 7,3 MHz. Un bruit gaussien est appliqué simultanément avec un niveau de -135 dBm/Hz.

Tableau A.5/G.989.2 – Réglages d'atténuation pour l'interférence en bande étroite

Essai	Réglages de l'atténuateur de perturbation (dB)					
	Numéro de boucle					
	1	4	5	6	8	9
PE = 1 FER = 10 ⁻²	26	26	26	26	26	26
PE = 1 FER = 10 ⁻³	26	26	26	26	26	26
PE = 5 FER = 10 ⁻²	26	30	26	32	30	–
PE = 5 FER = 10 ⁻³	26	31	26	33	31	–

A.3.4 Prescriptions pour le bruit impulsionnel

L'atténuateur est étalonné à 0 dB (Tableau A.6) pour une amplitude de crête à crête du bruit impulsionnel égale à 3,0 Volts. Un bruit gaussien est appliqué simultanément avec un niveau de -135 dBm/Hz. L'impulsion est définie sous la forme de deux cycles de signal carré à 5,0 MHz ajoutés à quatre cycles de signal carré à 7,0 MHz.

Tableau A.6/G.989.2 – Réglages d'atténuation pour le bruit impulsionnel

Essai	Réglages de l'atténuateur de perturbation (dB)	
	Numéro de boucle	
	2	9
PE = 1 FER = 10 ⁻²	3	3
PE = 1 FER = 10 ⁻³	3	3
PE = 5 FER = 10 ⁻²	3	–
PE = 5 FER = 10 ⁻³	3	–

A.3.5 Marge système pour un canal dynamique

Le système recevra au plus 5 trames de 1518 octets erronées sur 3000 émises avec un débit de 5 trames par période de 10 µs sur la boucle numéro 2 dans les conditions suivantes:

- pendant cet essai, le condensateur de 330 pF qui termine l'un des raccordements sera mis en service et hors service sur la boucle une fois par seconde, c'est-à-dire qu'une terminaison de circuit ouvert sera utilisée pendant une durée de 1 s toutes les 2 s;

- b) un bruit blanc d'un niveau de -140 dBm/Hz sera ajouté à l'entrée du récepteur;
- c) le codage de la charge utile sera égal à 5 (6 bits/symbole).

NOTE – La commutation d'un condensateur sur la boucle simule une transition de décrochage et de raccrochage sur un téléphone classique.

A.3.6 Immunité vis-à-vis du signal de sonnerie téléphonique

Les équipements G.989.2 sont conçus pour fonctionner en présence d'un signal de sonnerie émis par un centre de commutation téléphonique.

Le taux d'erreur de trame pour une trame de 1518 octets avec codage PE = 1 ne dépassera pas 0,1% lorsque l'équipement est soumis à l'essai représenté par la Figure A.1.

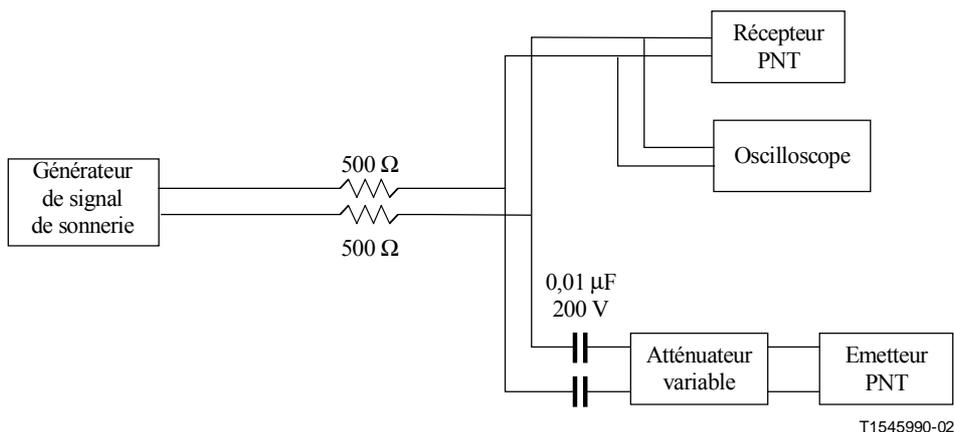


Figure A.1/G.989.2 – Conditions de signal de sonnerie téléphonique

Le signal de sonnerie simulé se constituera d'une sinusoïde à 20 Hz d'un niveau de $90 V_{\text{rms}}$ avec ajout d'une polarisation continue de -52 V. Le signal de sonnerie sera commuté avec une durée en service de 2 secondes et une durée hors service de 4 secondes.

NOTE – Les deux capacités de $0,01 \mu\text{F}$ représentées dans la Figure A.1 sont nécessaires pour réaliser une isolation galvanique, du fait que beaucoup d'atténuateurs ont une basse impédance qui est susceptible de réduire considérablement la tension de sonnerie.

Annexe B

Boucles d'essais réseau

On a défini dix boucles d'essais permettant d'évaluer les performances des récepteurs PNT. La présente annexe contient la spécification des types de câble et des topologies.

B.1 Modèle de câble

Les câbles appelés "quarte", "4 fils à plat" et "UTP-5" sont représentatifs des câblages téléphoniques usuels dans les bâtiments.

Le modèle suivant est utilisé pour les simulations pour générer les paramètres R, L, G, et C primaires en fonction de la fréquence.

$$R(f) = \sqrt[4]{R_o^4 + a \cdot f^2}$$

$$L(f) = \frac{l_0 + l_\infty \cdot \left(\frac{f}{f_m}\right)^b}{1 + \left(\frac{f}{f_m}\right)^b}$$

$$G(f) = g_0 \cdot f^{g_e}$$

$$C(f) = c_\infty + \frac{c_0}{f^{c_e}}$$

Le Tableau B.1 donne l'ensemble de paramètres pour chacun des types de câble utilisé dans le Tableau B.2. Les unités utilisées pour les paramètres sont les suivantes: R(f) est exprimé en Ohms/km, L(f) en mH/km, G(f) en μ Mhos/km et C(f) en μ F/km.

Tableau B.1/G.989.2 – Paramètres de modélisation des câbles

Paramètre de modélisation	Quarte	4 fils à plat	UTP-5
r_0	252,58	399,6273	172,2
a	0,164	0,470	0,173
l_0	0,763	0,789	0,613
b	0,493	0,406	0,516
l_∞	0,576	0,592	0,446
f_m	$239,8 \times 10^3$	$432,9 \times 10^3$	$310,6 \times 10^3$
g_0	0,0268	0,322	0,000175
g_e	0,547	0,467	0,540
c_0	0,075	0,0248	0
c_∞	0,044	0,0427	0,0516
c_e	0,152	0,0758	0

B.2 Boucles d'essais

Dans les Figures B.1 à B.10, les raccordements sans terminaison sont marqués "ouvert". Les raccordements terminés par des résistances sont marqués par la valeur de la résistance exprimée en Ohms. Les raccordements terminés par des condensateurs sont marqués par la valeur de la capacité exprimée en picofarads.

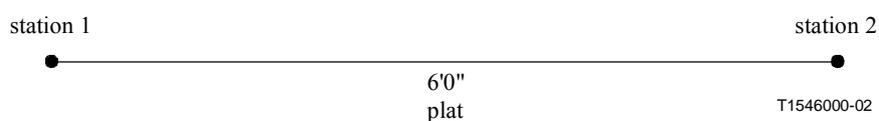


Figure B.1/G.989.2 – Boucle d'essais n° 1

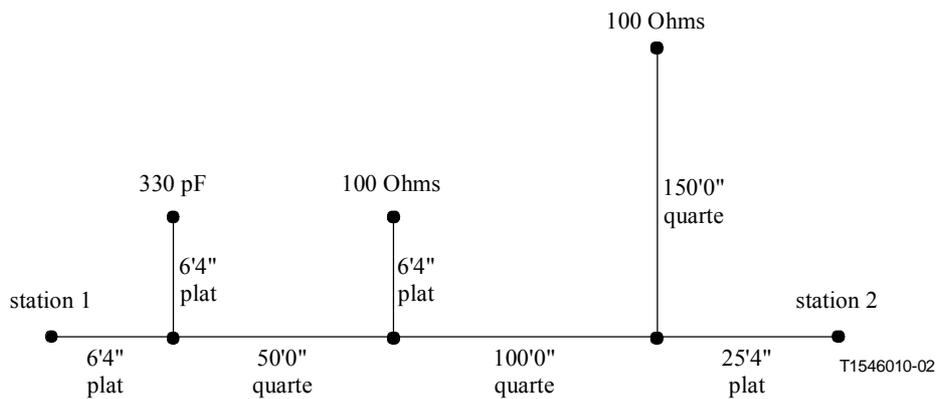


Figure B.2/G.989.2 – Boucle d'essais n° 2

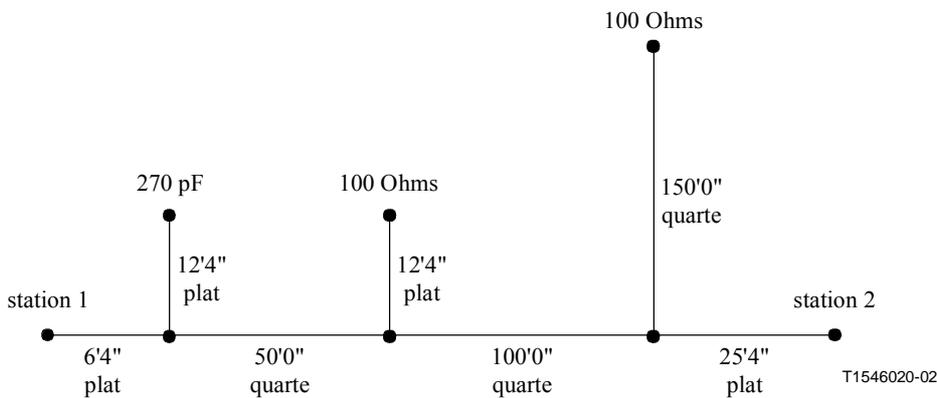


Figure B.3/G.989.2 – Boucle d'essais n° 3

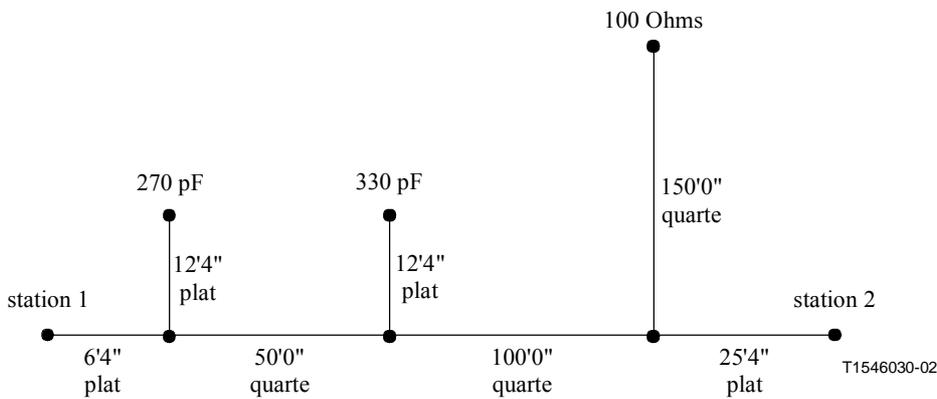


Figure B.4/G.989.2 – Boucle d'essais n° 4

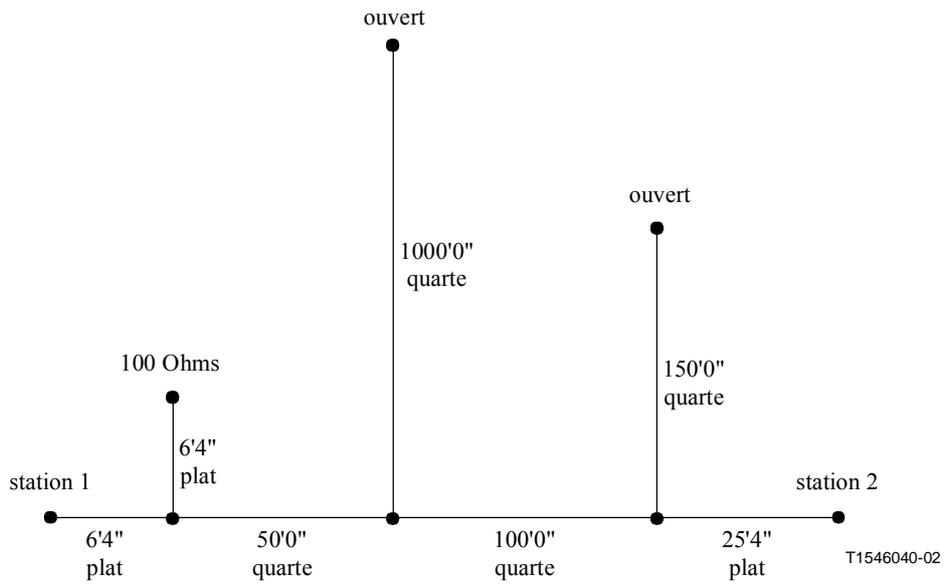


Figure B.5/G.989.2 – Boucle d'essais n° 5

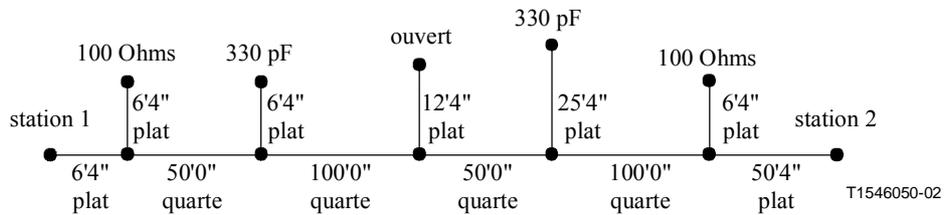


Figure B.6/G.989.2 – Boucle d'essais n° 6

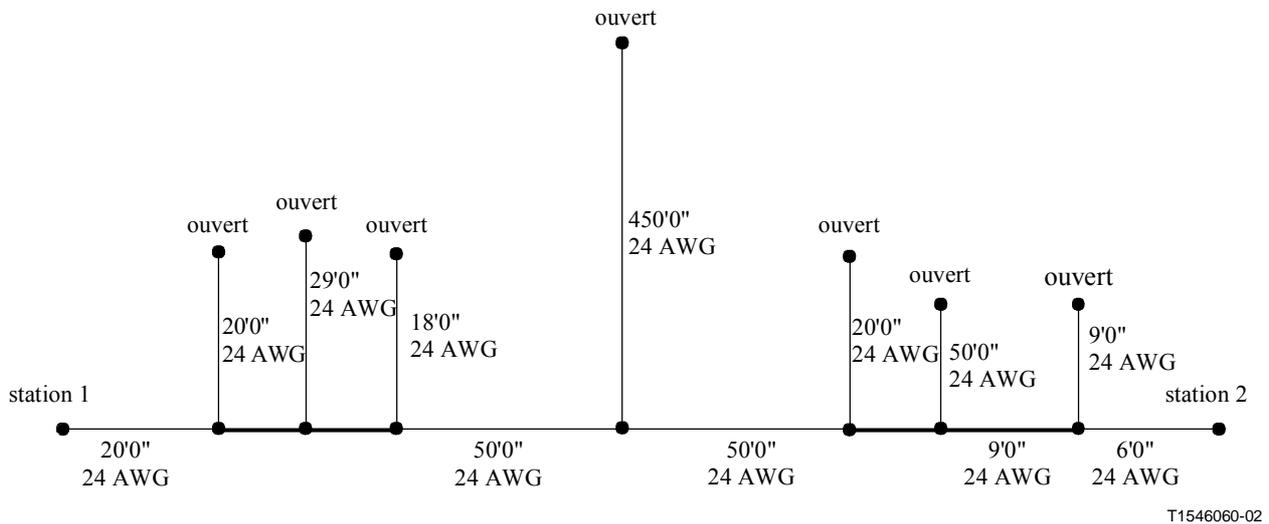


Figure B.7/G.989.2 – Boucle d'essais n° 7

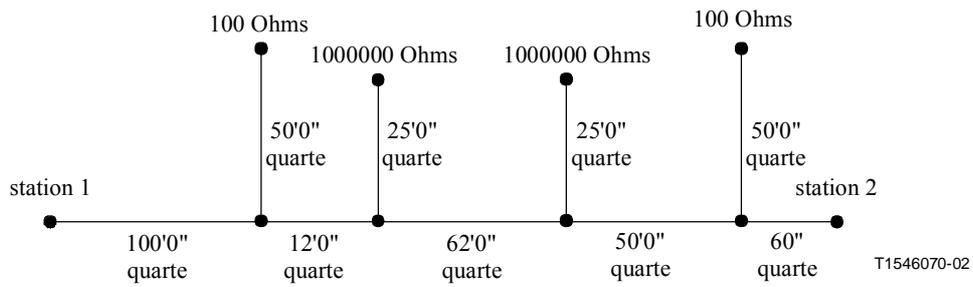


Figure B.8/G.989.2 – Boucle d'essais n° 8

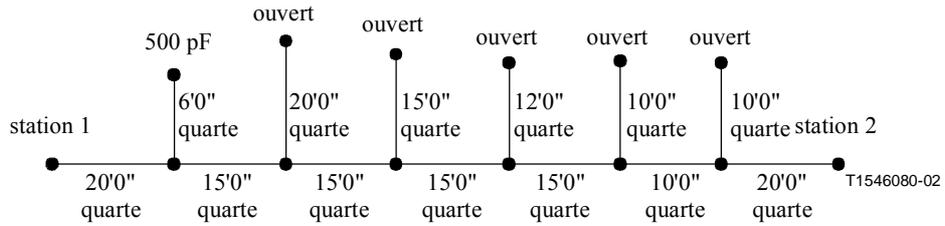


Figure B.9/G.989.2 – Boucle d'essais n° 9

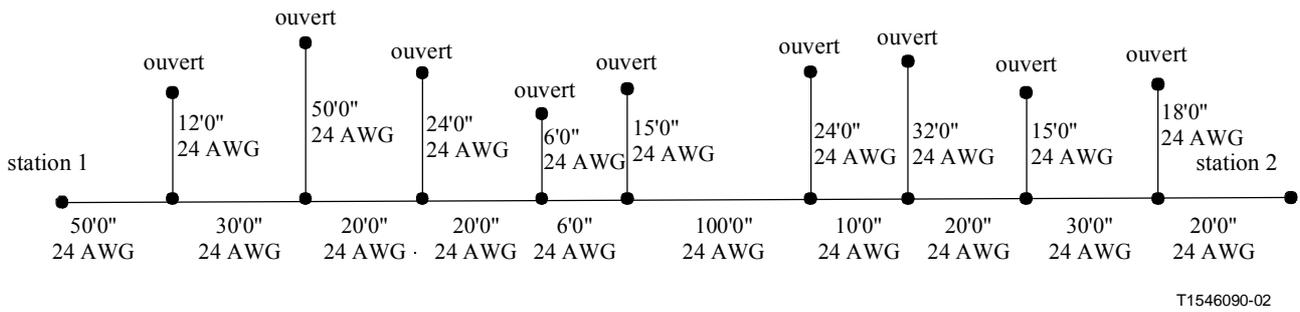


Figure B.10/G.989.2 – Boucle d'essais n° 10

SÉRIES DES RECOMMANDATIONS UIT-T

Série A	Organisation du travail de l'UIT-T
Série B	Moyens d'expression: définitions, symboles, classification
Série C	Statistiques générales des télécommunications
Série D	Principes généraux de tarification
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	RGT et maintenance des réseaux: systèmes de transmission, circuits téléphoniques, télégraphie, télécopie et circuits loués internationaux
Série N	Maintenance: circuits internationaux de transmission radiophonique et télévisuelle
Série O	Spécifications des appareils de mesure
Série P	Qualité de transmission téléphonique, installations téléphoniques et réseaux locaux
Série Q	Commutation et signalisation
Série R	Transmission télégraphique
Série S	Equipements terminaux de télégraphie
Série T	Terminaux des services télématiques
Série U	Commutation télégraphique
Série V	Communications de données sur le réseau téléphonique
Série X	Réseaux de données et communication entre systèmes ouverts
Série Y	Infrastructure mondiale de l'information et protocole Internet
Série Z	Langages et aspects généraux logiciels des systèmes de télécommunication