

UIT-T

SECTEUR DE LA NORMALISATION
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS
DE L'UIT

G.8264/Y.1364

Amendement 1
(03/2018)

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

Aspects relatifs aux protocoles en mode paquet sur couche
Transport – Synchronisation, objectifs de qualité et de
disponibilité

**SÉRIE Y: INFRASTRUCTURE MONDIALE DE
L'INFORMATION, PROTOCOLE INTERNET, RÉSEAUX DE
PROCHAINE GÉNÉRATION, INTERNET DES OBJETS ET
VILLES INTELLIGENTES**

Aspects relatifs au protocole Internet – Transport

Distribution du rythme dans les réseaux par paquets

Amendement 1

Recommandation UIT-T G.8264/Y.1364 (2017) –
Amendement 1

RECOMMANDATIONS UIT-T DE LA SÉRIE G
SYSTÈMES ET SUPPORTS DE TRANSMISSION, SYSTÈMES ET RÉSEAUX NUMÉRIQUES

CONNEXIONS ET CIRCUITS TÉLÉPHONIQUES INTERNATIONAUX	G.100–G.199
CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES COMMUNES À TOUS LES SYSTÈMES ANALOGIQUES À COURANTS PORTEURS	G.200–G.299
CARACTÉRISTIQUES INDIVIDUELLES DES SYSTÈMES TÉLÉPHONIQUES INTERNATIONAUX À COURANTS PORTEURS SUR LIGNES MÉTALLIQUES	G.300–G.399
CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DES SYSTÈMES TÉLÉPHONIQUES INTERNATIONAUX HERTZIENS OU À SATELLITES ET INTERCONNEXION AVEC LES SYSTÈMES SUR LIGNES MÉTALLIQUES	G.400–G.449
COORDINATION DE LA RADIOTÉLÉPHONIE ET DE LA TÉLÉPHONIE SUR LIGNES	G.450–G.499
CARACTÉRISTIQUES DES SUPPORTS DE TRANSMISSION ET DES SYSTÈMES OPTIQUES	G.600–G.699
EQUIPEMENTS TERMINAUX NUMÉRIQUES	G.700–G.799
RÉSEAUX NUMÉRIQUES	G.800–G.899
SECTIONS NUMÉRIQUES ET SYSTÈMES DE LIGNES NUMÉRIQUES	G.900–G.999
QUALITÉ DE SERVICE ET DE TRANSMISSION MULTIMÉDIA – ASPECTS GÉNÉRIQUES ET ASPECTS LIÉS À L'UTILISATEUR	G.1000–G.1999
CARACTÉRISTIQUES DES SUPPORTS DE TRANSMISSION	G.6000–G.6999
DONNÉES SUR COUCHE TRANSPORT – ASPECTS GÉNÉRIQUES	G.7000–G.7999
ASPECTS RELATIFS AUX PROTOCOLES EN MODE PAQUET SUR COUCHE TRANSPORT	G.8000–G.8999
Aspects relatifs au protocole Ethernet sur couche Transport	G.8000–G.8099
Aspects relatifs au protocole MPLS sur couche Transport	G.8100–G.8199
Synchronisation, objectifs de qualité et de disponibilité	G.8200–G.8299
Gestion des services	G.8600–G.8699
RÉSEAUX D'ACCÈS	G.9000–G.9999

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

Recommandation UIT-T G.8264/Y.1364

Distribution du rythme dans les réseaux par paquets

Amendement 1

Résumé

La Recommandation UIT-T G.8264/Y.1364 décrit les aspects de distribution des informations de rythme dans les réseaux par paquets et porte dans un premier temps sur les réseaux Ethernet. Il existe plusieurs méthodes possibles de transfert de la fréquence, qui peuvent être basées sur la couche physique ou sur la couche de protocole. La présente Recommandation contient des informations sur les aspects architecturaux des flux de rythme dans les réseaux Ethernet, qui serviront de base aux futurs travaux relatifs au transfert du temps et de la phase.

Elle définit le protocole et les formats de message d'état de synchronisation (SSM) à employer dans un réseau Ethernet synchrone. Le respect des formats de message SSM spécifiés dans cette Recommandation est indispensable pour garantir l'interopérabilité entre les équipements Ethernet synchrones intervenant dans le transfert de la fréquence.

L'Amendement 1 introduit des modifications permettant d'intégrer l'horloge de référence primaire améliorée (ePRC) dans les tableaux de codes SSM destinés à l'Ethernet synchrone.

Historique

Edition	Recommandation	Approbation	Commission d'études	ID unique*
1.0	UIT-T G.8264/Y.1364	29-10-2008	15	11.1002/1000/9420
1.1	UIT-T G.8264/Y.1364 (2008) Cor. 1	13-11-2009	15	11.1002/1000/10433
1.2	UIT-T G.8264/Y.1364 (2008) Amd. 1	22-09-2010	15	11.1002/1000/10927
1.3	UIT-T G.8264/Y.1364 (2008) Cor. 2	13-02-2012	15	11.1002/1000/11526
1.4	UIT-T G.8264/Y.1364 (2008) Amd. 2	13-02-2012	15	11.1002/1000/11525
2.0	UIT-T G.8264/Y.1364	14-05-2014	15	11.1002/1000/12192
2.1	UIT-T G.8264/Y.1364 (2014) Amd. 1	13-01-2015	15	11.1002/1000/12390
2.2	UIT-T G.8264/Y.1364 (2014) Amd. 2	13-04-2016	15	11.1002/1000/12810
3.0	UIT-T G.8264/Y.1364	29-08-2017	15	11.1002/1000/13321
3.1	UIT-T G.8264/Y.1364 (2017) Amd. 1	16-03-2018	15	11.1002/1000/13547

Mots clés

ESMC, synchronisation par paquets, synchronisation physique, Ethernet synchrone.

* Pour accéder à la Recommandation, reporter cet URL <http://handle.itu.int/> dans votre navigateur Web, suivi de l'identifiant unique, par exemple <http://handle.itu.int/11.1002/1000/11830-en>.

AVANT-PROPOS

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

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

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

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

NOTE

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

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

DROITS DE PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

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

A la date d'approbation de la présente Recommandation, l'UIT n'avait pas été avisée de l'existence d'une propriété intellectuelle protégée par des brevets à acquérir pour mettre en œuvre la présente Recommandation. Toutefois, comme il ne s'agit peut-être pas de renseignements les plus récents, il est vivement recommandé aux développeurs de consulter la base de données des brevets du TSB sous <http://www.itu.int/ITU-T/ipr/>.

© UIT 2019

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.....	1
3	Définitions	3
	3.1 Termes définis ailleurs	3
	3.2 Termes définis dans la présente Recommandation	3
4	Abréviations et acronymes	3
5	Conventions	5
6	Architectures des réseaux par paquets	6
	6.1 Couches de réseau et synchronisation	6
	6.2 Incidences de la qualité de fonctionnement des réseaux de couche sur la synchronisation.....	7
7	Flux de rythme	7
8	Blocs fonctionnels	8
9	Architectures de rythme de prochaine génération	10
	9.1 Système actuel de synchronisation fondé sur une hiérarchie SDH.....	10
	9.2 Qualité de fonctionnement de la synchronisation	10
	9.3 Évolution des réseaux.....	10
	9.4 Réseaux de synchronisation de prochaine génération	11
10	Transfert de fréquence par Ethernet synchrone	12
	10.1 Généralités sur l'Ethernet synchrone	12
	10.2 Modes de fonctionnement	12
11	Message SSM destiné à un réseau Ethernet synchrone	13
	11.1 Message SSM au niveau des paquets	13
	11.2 Sélection de la synchronisation fondée sur un message SSM.....	15
	11.3 Message SSM pour l'Ethernet synchrone: format et protocole	15
	11.4 Extensions de l'unité PDU du canal ESMC.....	23
	11.5 Interfonctionnement avec des réseaux de synchronisation existants	23
	11.6 Message SSM destiné aux horloges disposant d'un mode maintien amélioré	23
12	Emploi de l'Ethernet synchrone dans le contexte de plusieurs opérateurs	24
	12.1 Transport transparent du rythme par les signaux d'un service géré Ethernet.....	24
	12.2 Service de synchronisation fourni par l'opérateur du transporteur grâce à une interface comportant une référence temporelle physique (production d'une interface pour l'Ethernet synchrone)	25
13	Éléments de gestion de la synchronisation	27
Annexe A – Mécanisme de sélection de la source de référence		28
	A.1 Exigences.....	28

	Page
A.2 Source	28
A.3 Oscillateur interne	28
A.4 Flux de rythme physique interne– Fréquence de la couche ETY	28
A.5 Mécanisme de sélection.....	28
A.6 Sélection du message d'état de synchronisation	29
A.7 Fonction de sélection d'un équipement hybride	29
Appendice I – Exemples de flux de rythme	31
Appendice II – Modèles fonctionnels fondés sur les Recommandations UIT-T G.805 et UIT-T G.809	33
II.1 Contexte.....	33
II.2 Application de la Recommandation UIT-T G.805 à la fonction IWF.....	33
II.3 Informations de rythme transportées dans des réseaux de couche	35
II.4 Modèle fonctionnel de synchronisation de la couche physique Ethernet.....	35
II.5 Modèle fonctionnel pour des méthodes différentielles et adaptatives.....	36
Bibliographie.....	39

Recommandation UIT-T G.8264/Y.1364

Distribution du rythme dans les réseaux par paquets

Amendement 1

Note rédactionnelle: La présente publication contient le texte intégral de la Recommandation. Les modifications introduites par le présent amendement sont indiquées par des marques de révision apportées à la Recommandation UIT-T G.8264/Y.1364 (2017).

1 Domaine d'application

La présente Recommandation énonce les exigences relatives aux réseaux Ethernet en matière de transfert de la fréquence. Elle définit le canal de transport des messages d'état de synchronisation (SSM), c'est-à-dire le canal de messagerie de synchronisation Ethernet (ESMC), le comportement du protocole et le format des messages.

Il existe plusieurs méthodes possibles de transfert de la fréquence qui peuvent être fondées sur la couche physique ou sur la couche de protocole. On choisira la méthode en fonction de l'architecture réelle et de ce qui peut être pris en charge. La présente Recommandation porte principalement sur la synchronisation par la couche physique. La couche physique considérée ici correspond aux types de supports Ethernet définis dans la norme [IEEE 802.3]. D'autres couches physiques peuvent également être pertinentes et pourront être prises en compte, avec d'autres technologies par paquets, dans de futures versions de cette Recommandation.

La présente Recommandation contient en outre une description détaillée de l'architecture requise dans un langage de modélisation formel. On emploie des flux de rythme pour indiquer où et comment le temps et le rythme s'écoulent à travers l'architecture. Ces flux définissent en outre les sources de synchronisation autorisées sur le plan fonctionnel. Ces sources peuvent exister uniquement au sein de l'équipement lui-même ou être disponibles à l'extérieur, en tant que service client.

2 Références

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

[UIT-T G.709] Recommandation UIT-T G.709/Y.1331 (2016), *Interfaces pour le réseau de transport optique.*

[<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.709/>](http://www.itu.int/rec/T-REC-G.709/)

[UIT-T G.781] Recommandation UIT-T G.781 (2017), *Fonctions des couches de synchronisation.*

[<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.781/>](http://www.itu.int/rec/T-REC-G.781/)

[UIT-T G.803] Recommandation UIT-T G.803 (2000), *Architecture des réseaux de transport à hiérarchie numérique synchrone.*

[<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.803/>](http://www.itu.int/rec/T-REC-G.803/)

- [UIT-T G.805] Recommandation UIT-T G.805 (2000), *Architecture fonctionnelle générique des réseaux de transport*.
<<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.805>>
- [UIT-T G.809] Recommandation UIT-T G.809 (2003), *Architecture fonctionnelle des réseaux de couche sans connexion*.
<<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.809>>
- [UIT-T G.811] Recommandation UIT-T G.811 (1997), *Caractéristiques de rythme des horloges de référence primaires*.
<<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.811>>
- [UIT-T G.812] Recommandation UIT-T G.812 (2004), *Spécifications de rythme des horloges asservies utilisées comme horloges nodales dans les réseaux de synchronisation*.
<<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.812>>
- [UIT-T G.813] Recommandation UIT-T G.813 (2003), *Caractéristiques de rythme des horloges asservies utilisées dans les équipements SDH*.
<<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.813>>
- [UIT-T G.822] Recommandation UIT-T G.822 (1988), *Objectifs de limitation du taux de glissement commandé dans une communication numérique internationale*.
<<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.822>>
- [UIT-T G.823] Recommandation UIT-T G.823 (2000), *Régulation de la gigue et du dérapage dans les réseaux numériques fondés sur la hiérarchie à 2048 kbit/s*.
<<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.823>>
- [UIT-T G.824] Recommandation UIT-T G.824 (2000), *Régulation de la gigue et du dérapage dans les réseaux numériques basés sur la hiérarchie à 1 544 kbit/s*.
<<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.824>>
- [UIT-T G.825] Recommandation UIT-T G.825 (2000), *Régulation de la gigue et du dérapage dans les réseaux numériques à hiérarchie numérique synchrone (SDH)*.
<<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.825>>
- [UIT-T G.8010] Recommandation UIT-T G.8010/Y.1306 (2004), *Architecture des réseaux de couche Ethernet*.
<<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.8010>>
- [UIT-T G.8261] Recommandation UIT-T G.8261/Y.1361 (2013), *Aspects de rythme et de synchronisation des réseaux en mode paquet*.
<<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.8261>>
- [UIT-T G.8262] Recommandation UIT-T G.8262/Y.1362 (2015), *Caractéristiques de rythme des horloges asservies d'équipement Ethernet synchrone*.
<<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.8262>>
- [IEEE 802] IEEE 802-2014, *IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks: Overview and Architecture*.
<<http://ieeexplore.ieee.org/document/6847097/>>
- [IEEE 802.1AX] IEEE 802.1AX-2014, *IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks – Link Aggregation*.
<<http://ieeexplore.ieee.org/document/7055197/>>
- [IEEE 802.3] IEEE 802.3 (2015), *IEEE Standard for Ethernet*
<<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=8042052>>

3 Définitions

3.1 Termes définis ailleurs

La présente Recommandation utilise les termes suivants définis ailleurs:

3.1.1 horloge de réseau [UIT-T G.8261]: Horloge produisant le signal d'horloge de réseau.

3.1.2 horloge de service [UIT-T G.8261]: Horloge produisant le signal d'horloge de service.

3.2 Termes définis dans la présente Recommandation

Les termes suivants sont définis dans la présente Recommandation:

3.2.1 canal de messagerie de synchronisation Ethernet (ESMC): Canal logique acheminant le code de message d'état de synchronisation (SSM) indiquant le niveau de qualité de l'horloge d'équipement Ethernet synchrone, qui dépend de la couche physique. La structure du canal est définie par un protocole lent propre à une organisation (OSSP).

3.2.2 mode de fonctionnement non synchrone: Une interface Ethernet synchrone configurée en mode non synchrone est une interface qui, du côté du récepteur, ne transmet pas le signal d'horloge obtenu à l'horloge du système et ne constitue donc pas un point de référence possible pour le processus de sélection de la source de synchronisation. Il ne prend pas en charge le canal de messagerie de synchronisation Ethernet (ESMC) éventuellement présent et ne peut donc pas obtenir la valeur du niveau de qualité.

Du côté de l'émetteur, la fréquence d'émission de celui-ci peut être synchronisée avec l'horloge d'équipement Ethernet synchrone (EEC), mais cette synchronisation reste inconnue pour l'interface de réception à l'autre extrémité de la liaison. Dès lors, une interface fonctionnant en mode non synchrone ne peut établir de canal ESMC et ne peut donc pas transmettre de niveau de qualité.

Une interface de ce type ne fait pas partie du réseau de synchronisation; du point de vue fonctionnel, elle est identique à une interface asynchrone au sens de la norme [IEEE 802.3].

3.2.3 mode de fonctionnement synchrone: Une interface Ethernet synchrone peut être configurée en mode de fonctionnement synchrone.

Du côté du récepteur, elle peut obtenir la fréquence de son signal d'entrée et le transmettre à une horloge du système (une horloge d'équipement Ethernet synchrone (EEC)) ou à une horloge de meilleure qualité. Elle prend en charge le canal de messagerie de synchronisation Ethernet (ESMC) et peut obtenir le niveau de qualité. Ce signal peut alors servir de point de référence pour synchroniser la fréquence.

Du côté de l'émetteur, l'interface est verrouillée sur le rythme de sortie de l'horloge du système; elle établit un canal ESMC pour acheminer le niveau de qualité.

4 Abréviations et acronymes

Les abréviations et acronymes suivants sont employés dans la présente Recommandation:

AAL1	couche d'adaptation 1 du mode de transfert asynchrone (<i>asynchronous transfer mode adaptation layer 1</i>)
AI	informations adaptées (<i>adapted information</i>)
ATM	mode de transfert asynchrone (<i>asynchronous transfer mode</i>)
BITS	module intégré de synchronisation (<i>building integrated timing supply</i>)
BS	station de base (<i>base station</i>)
CES	service d'émulation de circuit (<i>circuit emulation services</i>)

CI	informations sur les caractéristiques (<i>characteristic information</i>)
DNU	ne pas utiliser (<i>do not use</i>)
DUS	ne pas utiliser pour la synchronisation (<i>do not use for synchronization</i>)
EEC	horloge d'équipement Ethernet synchrone (<i>synchronous ethernet equipment clock</i>)
eEEC	horloge d'équipement Ethernet améliorée (<i>enhanced ethernet equipment clock</i>)
EPL	ligne privée Ethernet (<i>ethernet private line</i>)
<u>ePRC</u>	<u>horloge de référence primaire améliorée (<i>enhanced primary reference clock</i>)</u>
ePRTC	horloge de référence temporelle primaire améliorée (<i>enhanced primary reference time clock</i>)
ESMC	canal de messages de synchronisation Ethernet (<i>ethernet synchronization messaging channel</i>)
ETH	réseau de couche MAC Ethernet (<i>Ethernet MAC layer network</i>)
ETY	réseau de couche physique Ethernet (<i>Ethernet PHY layer network</i>)
EVPL	ligne privée virtuelle Ethernet (<i>Ethernet virtual private line</i>)
GPS	système mondial de radiorepérage (<i>global positioning system</i>)
HOP	conduit d'ordre supérieur (<i>high order path</i>)
IWF	fonction d'interfonctionnement (<i>interworking function</i>)
LAG	agrégation de liaisons (<i>link aggregation</i>)
LOP	conduit d'ordre inférieur (<i>low order path</i>)
LSB	bit de plus faible poids (<i>least significant bit</i>)
MAC	commande d'accès au support (<i>media access control</i>)
MA-M	adresse MAC (moyenne) (<i>MAC address – medium</i>)
MA-S	adresse MAC (courte) (<i>MAC address – small</i>)
MPLS	commutation multiprotocole par étiquette (<i>multiprotocol label switching</i>)
MTIE	erreur maximale sur l'intervalle de temps (<i>maximum time interval error</i>)
MS	section de multiplexage (<i>multiplex section</i>)
NC	contrôleur de réseau (<i>network controller</i>)
NE	élément de réseau (<i>network element</i>)
NTP	protocole de temps réseau (<i>network time protocol</i>)
OAM	gestion, exploitation et maintenance (<i>operation, administration and maintenance</i>)
OSI	interconnexion des systèmes ouverts (<i>open systems interconnection</i>)
OSSP	protocole lent propre à une organisation (<i>organizational specific slow protocol</i>)
OTN	réseau de transport optique (<i>optical transport network</i>)
OUI	identificateur propre à une organisation (<i>organizationally unique identifier</i>)
PDH	hiérarchie numérique plésiochrone (<i>plesiochronous digital hierarchy</i>)
PDU	unité de données de protocole (<i>protocol data unit</i>)
PRC	horloge de référence primaire (<i>primary reference clock</i>)

PRTC	horloge de référence temporelle primaire (<i>primary reference time clock</i>)
PTP	protocole de précision temporelle (<i>precision time protocol</i>)
QL	niveau de qualité (<i>quality level</i>)
QL TLV	type-longueur-valeur du niveau de qualité (<i>quality level type length value</i>)
RAN	réseau d'accès radioélectrique (<i>radio access network</i>)
RS	section de régénération (<i>regenerator section</i>)
SASE	équipement autonome de synchronisation (<i>stand alone synchronization equipment</i>)
SDH	hiérarchie numérique synchrone (<i>synchronous digital hierarchy</i>)
SETG	générateur de rythme d'équipement synchrone (<i>synchronous equipment timing generator</i>)
SETS	source de rythme d'équipement synchrone (<i>synchronous equipment timing source</i>)
SRTS	horodate résiduelle synchrone (<i>synchronous residual time stamp</i>)
SSM	message d'état de synchronisation (<i>synchronization status message</i>)
SSU	unité de synchronisation (<i>synchronization supply unit</i>)
SyncE	Ethernet synchrone (<i>synchronous ethernet</i>)
TDEV	écart temporel (<i>time deviation</i>)
TDM	multiplexage par répartition dans le temps (<i>time division multiplexing</i>)
TLV	type-longueur-valeur (<i>type length value</i>)
UTC	temps universel coordonné (<i>coordinated universal time</i>)
VC	conteneur virtuel (<i>virtual container</i>)
WAN	réseau étendu (<i>wide area network</i>)
WDM	multiplexage par répartition en longueur d'onde (<i>wave division multiplexing</i>)

5 Conventions

Dans la présente Recommandation, le terme "Ethernet" se rapporte à une interface conforme à la norme [IEEE 802.3] qui n'observe pas les exigences de rythme supplémentaires de l'Ethernet synchrone spécifiées dans les Recommandations [UIT-T G.8261] et [UIT-T G.8262], ainsi que dans la présente Recommandation.

On trouvera dans cette Recommandation la définition de certaines séquences de bits qui font partie d'une trame Ethernet. On emploiera les conventions suivantes lorsque certaines valeurs particulières sont définies.

Les chaînes binaires sont représentées par des paires de caractères hexadécimaux (octets) séparées par un tiret. La présente convention est conforme à la représentation des chaînes de données hexadécimales définie dans la norme [IEEE 802.3]. Ainsi, le sous-type sur trois octets que l'IEEE a attribué à l'UIT-T prend la forme suivante: 00-19-A7.

Lorsqu'il suffit de définir au plus deux octets, on emploie le préfixe 0x pour indiquer que les caractères sont hexadécimaux. Ainsi, 0x12 représente la séquence de bits binaires 00010010.

Le terme "horloge d'équipement Ethernet améliorée" (eEEC) désigne la fonction d'une horloge d'équipement Ethernet synchrone (EEC) au sens de la Recommandation [UIT-T G.8262] dont la qualité de fonctionnement a été améliorée. La qualité de fonctionnement de cette horloge doit faire l'objet d'un complément d'étude.

6 Architectures des réseaux par paquets

Les principes de modélisation architecturale énoncés dans les Recommandations [UIT-T G.805] et [UIT-T G.809] sont bien connus et ont permis de mettre au point certains équipements et réseaux de transport de données; plus récemment, ils ont aussi permis de définir des réseaux par paquets. Une description formelle et à haut niveau de ces architectures est nécessaire pour établir les détails sous-jacents d'équipements définis dans d'autres Recommandations.

La Recommandation [UIT-T G.805] indique les propriétés des éléments architecturaux (fonctions atomiques) permettant de donner une définition générique des architectures de réseaux. Ces propriétés servent par exemple à définir les chemins (c'est-à-dire ce qui peut être observé) et les connexions de sous-réseaux (c'est-à-dire ce qui peut être commuté ou mis en réseau). La Recommandation [UIT-T G.805] a été rédigée dans le but de décrire des réseaux de transport classiques (c'est-à-dire de couche 1); son domaine d'application a récemment été étendu par la Recommandation [UIT-T G.809] pour prendre en compte les réseaux par paquets.

Les notions fondamentales d'une architecture de réseau sont notamment le réseau de couche, les informations sur les caractéristiques (CI) et la récursivité. Les CI correspondent à un signal d'un format particulier transmis par une connexion de réseau [UIT-T G.805] ou un flux [UIT-T G.809]. Un réseau de couche se compose des points d'accès liés à type particulier de CI. La récursivité au sein du modèle de couche permet de définir les couches sous-jacentes sans aucune contrainte. Les réseaux de couche inférieurs à la couche MAC Ethernet (ETH) et la couche physique Ethernet (ETY) pourraient être par exemple un réseau de multiplexage par répartition en longueur d'onde (WDM), voire un simple conduit.

Des descriptions ont été proposées pour des réseaux de couche liés à une hiérarchie numérique synchrone (SDH), à un mode de transfert asynchrone (ATM) ou à une commutation Ethernet et une commutation multiprotocole par étiquette (MPLS). Il est important de noter que les technologies précitées peuvent comporter plusieurs couches. Ainsi, un réseau Ethernet comprend les couches ETH et ETY, tandis qu'une hiérarchie SDH comprend les couches de la section de régénération (RS), de la section de multiplexage (MS) et des conduits d'ordre supérieure (HOP) et inférieur (LOP). En raison de la nature récursive de leur architecture, le même ensemble de règles d'interconnexions s'applique à tous les réseaux de couche.

Deux réseaux de couche sont définis pour l'Ethernet: les couches ETH et ETY. Les informations sur les caractéristiques de la couche ETH figurent dans les trames de commande d'accès au support (MAC). La couche ETY est la couche physique qui prend en charge la couche ETH (par exemple 10BaseT ou 100BaseT). On trouvera dans la Figure 4 de la Recommandation [UIT-T G.8010] un modèle de réseau Ethernet simplifié.

6.1 Couches de réseau et synchronisation

Les couches d'un réseau définissent sa technologie et permettent d'acheminer des informations à travers ce réseau. Le transport d'informations peut amener celles-ci à traverser plusieurs couches d'un réseau. Pour traverser une couche, il faut faire appel à une fonction d'adaptation provenant d'une couche client supérieure et destinée à une couche serveur inférieure. Cette fonction adapte les données de la couche client supérieure (les CI), qui deviennent des informations adaptées (AI) et sont acheminées dans la couche serveur. Dans certaines technologies, en particulier le multiplexage par répartition dans le temps (TDM) et le multiplexage par répartition en longueur d'onde (WDM), les informations de rythme sont intégrées dans les CI qui sont acheminées par le réseau. Ainsi, le rythme d'une hiérarchie numérique plésiochrone (PDH) doit être acheminé par le réseau. Une hiérarchie numérique synchrone (SDH), pour sa part, adapte les informations de rythme et transporte la charge utile adaptée avec le rythme lui-même (sous forme de bits de commande de remplissage) pour permettre au rythme et aux informations connexes de sortir du réseau.

Dans des réseaux par paquets, les informations de rythme des CI ne sont pas présentes dans toutes les couches; seule la couche physique en comporte. On trouve par exemple des informations de rythme dans la couche ETY synchrone. Ces informations ne font pas partie des CI des couches paquets; le rythme n'est donc pas transporté de manière intrinsèque par le réseau par paquets. Cette situation a des conséquences sur certains services liés au rythme, tels que l'émulation de circuit, pour lesquels le rythme du client doit être acheminé dans un réseau. Dans ces cas, par exemple pour l'émulation de circuit, on doit employer d'autres méthodes de transport des informations de rythme. Ces autres méthodes peuvent être par exemple les fonctions d'interfonctionnement (IWF) décrites dans la Recommandation [UIT-T G.8261].

6.2 Incidences de la qualité de fonctionnement des réseaux de couche sur la synchronisation

Un réseau de couche adapte des informations sur les caractéristiques (CI) provenant d'une couche donnée en les transformant en informations adaptées (AI) d'une couche inférieure (de plus, en raison des propriétés récursives des réseaux de couche, ces AI font désormais aussi partie des CI de la couche inférieure). Du point de vue du rythme, le processus d'adaptation n'est pas exempt de bruit. Ainsi, le fait d'adapter un client PDH pour le transformer en conteneur virtuel SDH provoque un effet de gigue en raison du mécanisme créant des bits de remplissage (les bits de commande étant des AI), et le fait d'adapter une section de multiplexage provoque de la gigue et du dérapage en raison des pointeurs. Dans les réseaux par paquets, la fonction de commutation repose sur des paquets constituant une mémoire tampon, ce qui fait varier le temps de transfert des paquets. Si les applications sont sensibles au temps, il convient de prendre en compte cette variation du temps de transfert des paquets.

7 Flux de rythme

Les flux de rythme sont des informations sur le rythme qui peuvent être transportées à travers un réseau de couche. Elles peuvent être nécessaires pour répondre aux besoins d'un service particulier ou aux besoins du réseau lui-même, ou elles peuvent faire partie intégrante des informations CI du service en question. Ainsi, un service TDM doit disposer d'une horloge qui lui est associée, et qui fait alors partie des CI définissant ce service (il peut s'agir par exemple d'un service E1 conforme à la Recommandation [UIT-T G.823]).

Dans les réseaux de synchronisation actuels, les informations de rythme acheminées par le réseau sont souvent appelées "chemins de synchronisation" (voir la Recommandation [UIT-T G.781]). Cet usage repose sur la définition d'un "chemin" donnée dans la Recommandation [UIT-T G.805]. Dans le cas des réseaux par paquets, la notion de "chemin" a été élargie pour devenir un "flux"; celui-ci a tout d'abord été employé dans la Recommandation [UIT-T G.809] pour décrire la possibilité que le trafic soit non continu et le cas dans lequel plusieurs flux de paquets sont acheminés par une seule connexion dans un réseau de couche inférieure. On peut considérer que la notion de flux de rythme est synonyme de la notion de chemin de synchronisation; toutefois, lorsqu'on emploie la notion de flux de rythme, la synchronisation couvre à la fois les réseaux par paquets et le multiplexage par répartition dans le temps (TDM).

Dans le contexte du transfert de la fréquence dans la couche physique, un flux de rythme est équivalent à un chemin de synchronisation.

Un réseau de couche peut transporter plusieurs flux de rythme. Ainsi, on peut trouver dans un réseau SDH un certain nombre de signaux PDH mappés avec un seul signal de module de transport synchrone de niveau N (STM-N). Dans la couche PDH, chaque signal PDH dispose d'un flux de rythme qui lui est associé. Néanmoins, on n'associe généralement qu'un seul flux de rythme à un service particulier. Dans le cas des réseaux par paquets, la couche paquets peut ne contenir aucun flux de rythme (par exemple si les informations de rythme font partie des CI et doivent donc être transportées de bout en bout); en revanche, la couche physique contiendra toujours un flux de rythme.

Lorsque les CI d'un service de réseau doivent par définition contenir des informations de rythme, il faut disposer d'un flux de rythme dans l'ensemble du réseau (ainsi, un service E1 fourni dans une hiérarchie SDH doit acheminer le flux de rythme à travers tout le réseau SDH/WDM) et de mécanismes adéquats s'il faut traverser des réseaux à plusieurs couches (par exemple si des bits de remplissage représentant le décalage de fréquences sont acheminés dans le réseau).

Pour synchroniser un réseau, on peut faire appel à trois catégories de flux de rythme: les flux physiques, de service et de message.

Les *flux de rythme physiques* sont les flux associés au réseau de couche le plus bas qui puisse être employé à des fins de synchronisation (par exemple un réseau Ethernet synchrone ou une hiérarchie SDH). Dans un réseau numérique, les flux physiques sont représentés par les transitions binaires.

Les *flux de rythme de service* représentent le rythme associé à un service particulier sensible au temps (par exemple le rythme d'un service PDH). Les flux de rythme de ces services peuvent être acheminés à travers un ou plusieurs réseaux de serveur. Les fonctions définies pour un réseau de couche indiquent de quelle manière les signaux du client sont adaptés et transportés dans un réseau de serveur. En général, lorsqu'un signal client comporte des informations de rythme nécessaires au service (par exemple un service E1), les couches inférieures sont définies de manière à pouvoir transporter ces informations d'une manière quelconque (par exemple, le service E1 transporté par la hiérarchie SDH comporte des informations de rythme codées dans les octets de remplissage du conteneur virtuel VC12).

Dans les cas où le réseau de couche serveur ne transporte pas les informations de rythme de manière intrinsèque, il faut définir des mécanismes particuliers qui permettent d'acheminer le rythme du client par ce réseau, afin que les informations de rythme du client puissent traverser le réseau entièrement. Citons à titre d'exemple une émulation de circuit TDM dans un réseau par paquets. Celui-ci ne pouvant transmettre de manière intrinsèque les informations de fréquence de son client, il faut intégrer le rythme associé au client PDH dans la charge utile du réseau par paquets. Le transport d'un service TDM dans un réseau par paquets est souvent qualifié de *violation de couche* car les couches inférieures ne peuvent encapsuler toutes les CI associées à un réseau client.

Un flux de rythme de service ne peut être associé à un service destiné à l'utilisateur final; il est uniquement associé au réseau. Ainsi, la distribution du rythme par des lignes à hiérarchie SDH n'est associée à aucun service d'utilisateur final.

Les *flux de rythme de message* constituent le troisième type de flux. Ils relèvent des messages transportés par un réseau de couche et contenant des informations de rythme qui seront employées par une couche supérieure (par exemple une couche supérieure au réseau de couche actuel) pour en déduire le rythme du réseau ou du service. Il existe différents exemples de flux de message, notamment le protocole de temps réseau (NTP) et le protocole de précision temporelle (PTP).

Les flux de rythme de message peuvent être limités au rythme existant entre des points d'adaptation d'une seule couche du réseau (par exemple dans le cas de l'émulation d'un circuit), mais ils peuvent aussi être acheminés à travers l'ensemble d'un réseau de couche. Dans ce cas, les flux de messages sont généralement des protocoles fonctionnant dans la couche 2 ou la couche 3.

On trouvera des exemples de flux de rythme dans l'Appendice I.

Les détails de la combinaison du rythme et de la fréquence doivent faire l'objet d'un complément d'étude.

8 Blocs fonctionnels

Les architectures de réseau élaborées par l'UIT-T sont définies en termes de modèles fonctionnels. Ces modèles définissent un ensemble de blocs de base qui représentent des fonctions particulières employées au sein d'un réseau. Les blocs fonctionnels sont les éléments fondamentaux qui permettent d'élaborer des recommandations sur des équipements ou des modes de gestion.

Cependant, les architectures fonctionnelles ont été conçues pour définir un réseau du point de vue du transport de bout en bout des informations destinées à l'utilisateur (par exemple des données). Dans les réseaux de transport pour lesquels des modèles fonctionnels ont été définis (par exemple une hiérarchie SDH, un réseau de transport optique (OTN) ou une hiérarchie PDH), il n'est pas nécessaire de communiquer la synchronisation de fréquence de manière explicite car le rythme est toujours présent dans le canal support. Nous traiterons ci-après des blocs à employer spécifiquement aux fins de la synchronisation.

Les blocs fonctionnels destinés à la synchronisation peuvent être intégrés dans des équipements de réseau (par exemple des horloges conformes à la Recommandation [UIT-T G.8262]) ou dans d'autres types d'équipements, par exemple un équipement autonome de synchronisation (SASE) ou une unité de synchronisation (SSU). Les blocs fonctionnels destinés à des fonctions qui interviennent dans la synchronisation sont notamment les suivants: les fonctions d'horloge, les fonctions de distribution du temps, les fonctions de choix d'horloge et les fonctions d'interfonctionnement (IWF) nécessaires à la mise en œuvre d'une émulation de circuit. Ces fonctions sont illustrées dans la Figure 8-1.

Traditionnellement, les horloges sont définies en termes de fréquence aux fins de la synchronisation. Les blocs fonctionnels actuels, qui représentent des fonctions d'horloge au sens de la Recommandation [UIT-T G.781], ne fournissent que la fréquence. Les horloges internes intégrées dans un élément de réseau peuvent fournir une indication de début de trame; néanmoins, celle-ci reste interne à l'élément de réseau et n'est pas produite par la fonction d'horloge.

La distribution de temps est une fonction requise par le réseau, par exemple pour prendre en charge le paramétrage de rythme destiné à corrélérer des alarmes. Deux symboles sont fournis pour distinguer la distribution de temps de la distribution de fréquence. Un bloc fonctionnel spécial combinant le temps et la fréquence est présenté dans la Figure 8-2. Les détails de ce bloc doivent faire l'objet d'un complément d'étude.

Comme indiqué plus haut, la synchronisation classique repose sur une distribution de la fréquence. Cette fréquence est généralement liée au canal support sous-jacent. Dans ce cas, l'origine et la terminaison de la source du rythme sont intégrées dans les modèles fonctionnels pertinents et il n'est pas nécessaire de les décrire de manière explicite. Néanmoins, dans le cas d'un flux de paquets représentant un flux de rythme, il convient d'employer des descripteurs spéciaux pour indiquer l'origine et la terminaison du rythme. Ces descripteurs sont illustrés dans la Figure 8-3; leur emploi doit faire l'objet d'un complément d'étude.

Il est possible de définir des blocs fonctionnels supplémentaires, mais ceux-ci doivent également faire l'objet d'un complément d'étude. On trouvera dans l'Appendice II des exemples de la manière dont ces blocs peuvent être employés dans des services d'émulation de circuit (CES).

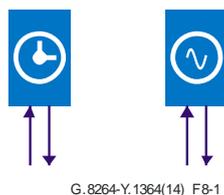


Figure 8-1 – Fonctions de temps et d'oscillateur (fréquence)

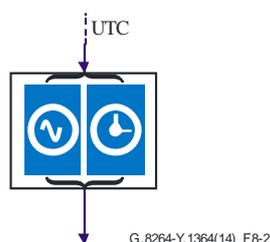


Figure 8-2 – Horloge combinée (temps et fréquence)



Figure 8-3 – Origine et terminaison du flux de rythme

9 Architectures de rythme de prochaine génération

9.1 Système actuel de synchronisation fondé sur une hiérarchie SDH

La synchronisation des réseaux repose traditionnellement sur la distribution d'une fréquence précise dans l'ensemble du réseau. Ce système est mis en œuvre en combinant un réseau et des horloges d'équipement, et éventuellement un mécanisme quelconque de transfert de rythme entre les services. Les horloges intégrées au réseau sont classées selon leur qualité de fonctionnement, et l'on emploie un système de synchronisation entre l'horloge pilote et les horloges asservies. On peut aussi avoir recours parfois à des satellites (par exemple du système GPS) pour distribuer la fréquence. Les horloges employées dans les réseaux actuels sont définies dans les Recommandations [UIT-T G.811], [UIT-T G.812] et [UIT-T G.813]. L'architecture générale de ces réseaux est décrite dans la Recommandation [UIT-T G.803].

La distribution du rythme entre les services a évolué pour intégrer la hiérarchie SDH, qui est devenue un élément fondamental de la synchronisation de réseau. Cette nouvelle architecture de la synchronisation générale d'un réseau est décrite dans Recommandation [UIT-T G.803]. Certaines fonctions propres à la synchronisation sont en outre décrites dans la Recommandation [UIT-T G.781].

9.2 Qualité de fonctionnement de la synchronisation

La qualité de fonctionnement des horloges intégrées dans des réseaux de synchronisation dépend de la nécessité de conserver un taux de glissement acceptable, compte tenu des exigences énoncées dans la Recommandation [UIT-T G.822]. Les effets de gigue et de dérapage ont tendance à s'accumuler dans un réseau; pour les limiter, il faut que le réseau et les équipements soient correctement conçus. Du fait de la normalisation, la qualité de fonctionnement de la synchronisation est désormais déterminée de manière interne au réseau afin de répondre aux exigences particulières des différentes interfaces de l'ensemble du réseau. Les limites ainsi fixées sont définies dans les Recommandations [UIT-T G.823] et [UIT-T G.824] pour les réseaux PDH, et dans la Recommandation [UIT-T G.825] pour les réseaux SDH. Pour les réseaux relevant des domaines CES, les limites des interfaces sont définies dans la Recommandation [UIT-T G.8261].

9.3 Évolution des réseaux

Le réseau de transport doit répondre aux exigences en matière de gigue et de dérapage des services pouvant être acheminés par le réseau. Les réseaux de synchronisation actuels ont évolué afin de répondre aux objectifs de glissement nécessaires pour assurer la bonne transmission des signaux vocaux, qui sont essentiellement transportés par des circuits DS-1 et E1.

Cependant, les signaux vocaux ne sont plus majoritaires dans le trafic transitant par les réseaux actuels; les données par paquets sont désormais plus nombreuses. Compte tenu de la nature du transport de paquets, les exigences de synchronisation strictement nécessaires aux réseaux destinés à la voix ne sont plus nécessaires pour des services n'acheminant que des paquets, puisque ces services peuvent s'appuyer, dans une large mesure, sur la mise en mémoire tampon (c'est notamment le cas du courrier électronique). Néanmoins, bien que la technologie du réseau par paquets commence à remplacer les réseaux TDM (par exemple le réseau SDH) et devienne la principale technologie d'interface de service primaire, il reste nécessaire de conserver un réseau de synchronisation pour continuer de prendre en charge certains services (en particulier l'émulation de circuit) ou répondre aux besoins particuliers de certaines infrastructures (comme les réseaux hertziens).

9.4 Réseaux de synchronisation de prochaine génération

Depuis les services à commutation de circuit, les réseaux ont évolué vers des services sans connexion (par exemple l'Internet). Du point de vue de la synchronisation, un réseau de synchronisation peut être considéré comme une forme de réseau à commutation de circuit dans la mesure où la synchronisation a pour but de distribuer le signal de rythme le long d'un trajet déterministe au sein du réseau. Ces trajets peuvent être disjoints d'un trajet de service particulier (ainsi, les signaux d'horloge ne se terminent pas aux mêmes points du réseau que les services) et doivent être gérés en conséquence (c'est-à-dire de manière distincte du trafic, et si possible comme un réseau superposé).

9.4.1 Ethernet synchrone

Les réseaux de synchronisation devraient évoluer à mesure que la technologie des réseaux par paquets remplace celle des réseaux TDM. L'UIT-T a défini un réseau Ethernet synchrone permettant de distribuer la fréquence par des liaisons physiques Ethernet. Cette architecture, qui est décrite dans la Recommandation [UIT-T G.8261], permet de prendre en charge la distribution du rythme d'une manière cohérente avec la distribution du rythme fondée sur des fréquences qui est employée dans un réseau SDH. Les horloges des équipements de réseau employées pour l'Ethernet synchrone sont définies dans la Recommandation [UIT-T G.8262]; elles ont été conçues de manière à être compatibles avec les capacités de distribution de la synchronisation des réseaux SDH actuels. L'ingénierie des réseaux veille ainsi à conserver la compatibilité avec les pratiques courantes.

9.4.2 Mécanismes de synchronisation par paquets

La distribution du temps repose sur le transfert de signaux temporels, et non de fréquence. La fréquence est une mesure relative; on considère généralement qu'elle est mesurée par rapport à une fréquence normalisée. Les signaux temporels diffèrent d'une fréquence par le fait qu'ils représentent une valeur absolue à croissance monotone, cette valeur étant généralement en lien avec la rotation de la Terre (c'est-à-dire qu'elle est exprimée en années, jours, heures, minutes et secondes).

Les mécanismes de distribution du temps diffèrent considérablement de ceux qui sont employés pour distribuer la fréquence. En tant qu'étiquette, le temps est transporté sous forme de chaîne lisible par une machine. Certains protocoles fonctionnant dans des couches spécifiques permettent de transporter des protocoles de distribution du temps (il s'agit par exemple des protocoles [b-IETF RFC 1305], [b-IETF RFC 3550] et [b-IEEE 1588]). Différents protocoles peuvent présenter différents niveaux de résolution du temps.

Dans certaines applications de réseau, on peut employer des horodates pour prendre en charge la production de fréquence. On peut alors comparer les informations de temps acheminées par ces horodates aux informations de temps produites par l'oscillateur local pour obtenir une fréquence de référence destinée à l'oscillateur local.

On peut également employer des méthodes différentielles pour obtenir le rythme transporté dans des paquets. Dans ce cas, il suffit que l'horodate soit relative car elle ne sert qu'à estimer la phase. Comme la phase et la fréquence sont liées, on peut employer ces informations relatives pour retrouver la fréquence de référence. Cette méthode est appelée synchronisation différentielle (voir également

la Recommandation [UIT-T G.8261]). Ainsi, l'horodate résiduelle synchrone (SRTS) est une méthode bien connue qui a été normalisée pour pouvoir être employée dans la couche d'adaptation 1 du mode de transfert asynchrone (AAL1); elle permet de signaler une phase relative sous forme d'horodate, qui sera transmise dans un réseau par paquets pour retrouver la fréquence d'un signal PDH.

10 Transfert de fréquence par Ethernet synchrone

10.1 Généralités sur l'Ethernet synchrone

L'UIT a défini l'Ethernet synchrone comme un moyen d'employer l'Ethernet pour transférer un rythme (une fréquence) par la couche ETY. Ce cas général de transfert du rythme par la couche 1 a été spécifié dans la Recommandation [UIT-T G.8261].

Les horloges employées dans un réseau Ethernet synchrone sont définies dans la Recommandation [UIT-T G.8262]; elles sont compatibles avec les horloges employées dans les réseaux de synchronisation actuels. La conception des réseaux de synchronisation reste donc cohérente avec la pratique actuelle en matière de synchronisation de réseaux. La gigue et le dérapage restent compatibles avec les recommandations en vigueur (voir [UIT-T G.8262]).

Les normes énoncées dans le document [IEEE 802.3] prévoient que le débit de ligne d'un réseau Ethernet doit avoir une modulation bien précise (± 100 ppm) par rapport à une référence absolue. L'Ethernet synchrone se définit simplement par le fait que ce débit doit dépendre d'une référence externe. C'est pourquoi un réseau Ethernet synchrone n'impose aucune contrainte aux dispositifs Ethernet existants qui ne sont pas en mesure de fonctionner de manière synchrone. En revanche, pour que la fréquence soit obtenue dans un réseau Ethernet synchrone, il faut obligatoirement disposer d'un message d'état de synchronisation (SSM).

Les ports Ethernet synchrones fonctionnent théoriquement dans une fourchette de tolérance de fréquences de $\pm 4,6$ ppm. Toutefois, pour prendre en charge des interfaces non synchrones, les récepteurs Ethernet synchrones doivent aussi pouvoir fonctionner à ± 100 ppm pour préserver la continuité des données.

NOTE – Certaines interfaces Ethernet de synchronisation peuvent présenter une fonctionnalité réduite au sens où elles ne peuvent assurer la synchronisation Ethernet que dans un seul sens (émission ou réception). Les détails de ces interfaces doivent faire l'objet d'un complément d'étude.

Les messages SSM destinés aux réseaux Ethernet sont décrits dans la présente Recommandation. Un message SSM est destiné à être employé avec des algorithmes de sélection de la synchronisation fondés sur la Recommandation [UIT-T G.781]. Cependant, il n'est pas toujours nécessaire de disposer de la fonctionnalité complète du message SSM dans tous les nœuds d'un réseau. La capacité de recevoir des messages SSM dépend de l'application pour toutes les interfaces destinées à exploiter la couche physique Ethernet pour extraire un rythme de réseau. Toutefois, la capacité de produire un message SSM n'est nécessaire que dans les cas où l'élément de réseau participe à la distribution du rythme du réseau. Cela peut avoir des conséquences pour certaines mises en œuvre aux extrémités d'un réseau, où la synchronisation s'achève avec l'élément de réseau.

Dans certains cas d'application, notamment dans le réseau d'accès, il peut être possible d'obtenir le rythme à partir d'un signal Ethernet ne transportant pas de canal de messagerie de synchronisation Ethernet (ESMC), et de produire un signal Ethernet synchrone sans ce canal ESMC. Cette méthode relève de la responsabilité de l'opérateur et doit faire l'objet d'un complément d'étude.

10.2 Modes de fonctionnement

Les équipements Ethernet qui ne prennent pas en charge le mode synchrone fonctionnent en mode asynchrone, c'est-à-dire que chaque interface d'entrée obtient son rythme dans son signal d'entrée. Celui-ci se trouve dans une fourchette de fréquences de ± 100 ppm (± 20 ppm pour un réseau étendu (WAN) de 10G, conformément à la section 57.6.2 de la norme [IEEE 802.3]). En outre, chaque

interface de sortie peut disposer d'un oscillateur autonome produisant un rythme dans une fourchette de fréquences de ± 100 ppm (± 20 ppm pour un réseau WAN de 10G).

Ces équipements comportent une horloge du système (par exemple une horloge d'équipement Ethernet synchrone). Les interfaces Ethernet synchrones peuvent récupérer les informations de l'horloge du système de réception et les transmettre à une horloge du système.

En vertu de la Recommandation [UIT-T G.781], une horloge d'équipement peut fonctionner selon deux modes possibles, à savoir les modes QL activé et QL désactivé. Chaque interface d'un équipement Ethernet synchrone peut être configurée de manière à fonctionner en mode synchrone ou non synchrone.

Mode de fonctionnement non synchrone

Une interface Ethernet synchrone configurée en mode non synchrone est une interface qui, du côté du récepteur, ne transmet pas le signal d'horloge obtenu à l'horloge du système et ne constitue donc pas un point de référence possible pour le processus de sélection de la source de synchronisation. Il ne prend pas en charge le canal de messagerie de synchronisation Ethernet (ESMC) éventuellement présent et ne peut donc pas obtenir la valeur du niveau de qualité.

Du côté de l'émetteur, la fréquence d'émission de celui-ci peut être synchronisée avec l'horloge d'équipement Ethernet synchrone (EEC), mais cette synchronisation reste inconnue pour l'interface de réception à l'autre extrémité de la liaison. Dès lors, une interface fonctionnant en mode non synchrone ne peut établir de canal ESMC et ne peut donc pas transmettre de niveau de qualité.

Une interface de ce type ne fait pas partie du réseau de synchronisation; du point de vue fonctionnel, elle est identique à une interface asynchrone au sens de la norme [IEEE 802.3].

Mode de fonctionnement synchrone

Une interface Ethernet synchrone peut être configurée en mode de fonctionnement synchrone.

Du côté du récepteur, elle peut obtenir la fréquence de son signal d'entrée et le transmettre à une horloge du système (une horloge d'équipement Ethernet synchrone (EEC)) ou à une horloge de meilleure qualité. Elle prend en charge le canal de messagerie de synchronisation Ethernet (ESMC) et peut obtenir le niveau de qualité. Ce signal peut alors servir de point de référence pour synchroniser la fréquence.

Du côté de l'émetteur, l'interface est verrouillée sur le rythme de sortie de l'horloge du système; elle établit un canal ESMC pour acheminer le niveau de qualité.

Dans le cas particulier des interfaces Ethernet en cuivre destinées à la 1G, conformément à la norme [IEEE 802.3], ces interfaces auto-négocient la liaison pour déterminer les horloges pilote et asservies de cette liaison. Si elles sont employées dans un réseau Ethernet synchrone, il faut prendre en compte le trajet de rythme résultant de l'opération pour pouvoir utiliser la distribution de fréquence de ce réseau. L'horloge pilote doit être compatible avec le plan de synchronisation du réseau.

En l'absence d'ESMC et de niveau de qualité, c'est à l'opérateur de décider si son interface de synchronisation sera une interface Ethernet synchrone. Cette décision relève de sa responsabilité et doit faire l'objet d'un complément d'étude.

11 Message SSM destiné à un réseau Ethernet synchrone

11.1 Message SSM au niveau des paquets

Les messages SSM existants, fondés sur la hiérarchie SDH, sont acheminés en des endroits fixes dans la trame SDH. Dans le cas de l'Ethernet, l'équivalent d'une trame fixe n'existe pas. Le préfixe des diverses fonctions, par exemple la pause, l'exploitation, l'administration et la maintenance (OAM),

est acheminé par des protocoles au niveau de la couche physique. De même, les messages SSM doivent être acheminés au moyen d'un protocole.

Logiquement, la partie consacrée au préfixe d'un message SSM SDH peut être considérée comme un canal de communication unidirectionnel spécialisé entre des entités qui traitent les messages SSM. On trouvera dans la Figure 11-1 un exemple simplifié de deux éléments de réseau connectés entre eux. Chacun de ces éléments est aussi connecté à une unité de synchronisation (SSU) et dispose de sélecteurs pour choisir la source de l'horloge du système. Les sélecteurs sont commandés par un bloc appelé "commande de synchronisation". Ce bloc est également chargé de commander la protection du rythme. La figure ne montre pas l'interface du système de gestion.

Le bloc de commande de synchronisation peut être mis en œuvre sous forme de logiciel; celui-ci est alors exécuté sur un élément de réseau et peut prendre en entrée le SSM indiquant le niveau de qualité (il peut s'agir de divers signaux d'entrée, par exemple des signaux externes ou des signaux de ligne). Il peut aussi être chargé de produire un SSM destiné aux sorties pertinentes, dans lequel il indique certains paramètres (par exemple s'il faut insérer l'instruction DNU ("ne pas utiliser") sur certains ports; voir la Recommandation [UIT-T G.781]).

Le message SSM indique le niveau de qualité du rythme transmis et correspond donc à un canal unidirectionnel entre le bloc de commande de synchronisation de l'élément de réseau émetteur et celui de l'élément de réseau récepteur.

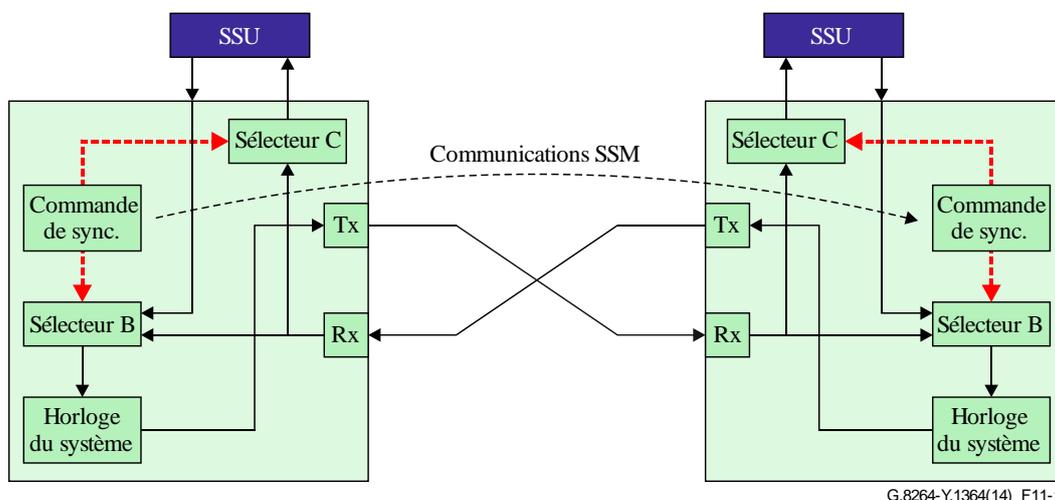


Figure 11-1 – Canal SSM simplifié

La Figure 11-1 n'indique pas quel type particulier de canal a été employé. Dans le cas d'une hiérarchie SDH, le préfixe de transport contient un préfixe spécialisé. Dans le cas de l'Ethernet, ce préfixe n'existe pas; il faut donc disposer d'un mécanisme ayant cette capacité de communication.

Dans le cas d'un SSM Ethernet synchrone, le canal du message exploite les fonctions OAM des liaisons définies dans la norme [IEEE 802.3], ainsi que le protocole lent propre à une organisation (OSSP) de l'IEEE pour acheminer le niveau de qualité du signal physique Ethernet concerné.

11.1.1 Utilisation d'un canal ESMC avec agrégation de liaisons

La norme [IEEE 802.3] contient une définition de plusieurs protocoles lents et prévoit l'utilisation de différents protocoles lents dans un même système sur un seul segment de liaison. Dans les mises en œuvre d'un canal ESMC, le niveau de qualité doit s'appliquer à l'horloge de la couche physique et le canal ESMC doit fonctionner en conséquence. L'agrégation de liaisons (LAG, [IEEE 802.1AX]), par exemple, est une fonction exploitant des protocoles lents qui offre un mécanisme permettant d'acheminer des trames MAC via un groupe de liaisons. Comme il est indiqué dans la section 57.2.2 de la norme [IEEE 802.3], une LAG fonctionne par-dessus les fonctions OAM et donc par-dessus

le canal ESMC. Comme celui-ci est modélisé d'après une liaison OAM, il faut traiter les messages ESMC de chaque liaison Ethernet synchrone établie dans le groupe LAG.

Il est également important de noter que l'emploi de liaisons parallèles (comme c'est le cas dans une LAG) doit faire l'objet d'une analyse minutieuse car il présente le risque de créer des boucles de rythme (voir les §§ 5.13.2 et 5.13.3.1 de la Recommandation [UIT-T G.781]). Comme il est indiqué dans le § 5.13.2 de cette Recommandation, on introduit la notion de "groupe de liaisons" lorsque plusieurs liaisons de rythme partagent la même source de synchronisation (c'est-à-dire la même horloge EEC dans le cas d'un Ethernet synchrone). Dans ce cas, qui concerne aussi les LAG, si un élément de réseau choisit le port d'un groupe de liaisons pour lui fournir la synchronisation en entrée, il doit retourner l'instruction DNU/DUS (ne pas utiliser/ne pas utiliser pour la synchronisation) vers tous les ports du groupe de liaisons capables de fournir un rythme. Il incombe aux opérateurs de configurer soit plusieurs ports actifs sur le réseau Ethernet synchrone, soit un seul port actif sur l'Ethernet synchrone du LAG.

11.2 Sélection de la synchronisation fondée sur un message SSM

Les messages SSM témoignent de la qualité des horloges du système situées dans les divers éléments de réseau. Le niveau de qualité correspond à la qualité de fonctionnement en mode maintien d'une horloge. Les deux horloges définies pour un équipement Ethernet synchrone dans la Recommandation [UIT-T G.8262] ont des caractéristiques différentes et des qualités de fonctionnement en mode maintien légèrement différentes.

NOTE – Aux fins de la sélection du message SSM, l'horloge de l'option 1 EEC de la Recommandation [UIT-T G.8262] est traitée comme celle de l'option 1 de la Recommandation [UIT-T G.813], tandis que l'horloge de l'option 2 EEC est traitée comme une horloge du type IV de la Recommandation [UIT-T G.812] (c'est-à-dire respectivement de niveaux de qualité QL-SEC et QL-ST3). Les messages SSM sont indiqués dans le Tableau 11-1. Un champ type-longueur-valeur (QL TLV) est également défini pour un niveau de qualité étendu afin de prendre en charge des horloges d'une qualité de fonctionnement supérieure. (Ces horloges supplémentaires et leurs niveaux de qualité sont présentés dans le Tableau 11-6).

Tableau 11-1 – Message SSM pour l'Ethernet synchrone

Horloge	Niveau de qualité	Code SSM
EEC1	QL-EEC1	0xB
EEC2	QL-EEC2	0xA

La sélection de la synchronisation est décrite de manière détaillée dans l'Annexe A.

11.3 Message SSM pour l'Ethernet synchrone: format et protocole

Comme noté ci-dessus, l'indication de la qualité d'une horloge est acheminée au moyen d'un protocole au niveau de la liaison Ethernet synchrone. Les messages SSM destinés à l'Ethernet mettent en œuvre le canal SSM employant un protocole lent propre à une organisation (OSSP) de la norme [IEEE 802.3]. Le message SSM au niveau du réseau est défini dans la Recommandation [UIT-T G.781]. Les temps de traitement des messages contenus dans cette Recommandation sont fondés sur des objectifs de reconfiguration du réseau, qui sont eux-mêmes définis au regard des caractéristiques de qualité de fonctionnement des horloges de réseau (SEC pour la hiérarchie SDH, EEC dans le cas de l'Ethernet synchrone). Pour satisfaire aux prescriptions en matière de qualité de fonctionnement de la commutation de référence, deux types de messages de protocole sont définis dans la Recommandation [UIT-T G.781]. D'une façon générale, on emploie un message de fond ou de "rythme cardiaque" pour fournir une indication continue de la qualité de l'horloge. Un intervalle de temps d'une seconde entre les messages satisfait aux prescriptions en matière de débit des messages des protocoles lents définis dans la norme [IEEE 802.3]. Pour minimiser les effets du dérapage qui peut se produire en mode maintien, un message de type événement comportant un nouveau code SSM

est émis immédiatement, conformément aux prescriptions relatives au rythme d'horloge de la Recommandation [UIT-T G.781]. Par précaution contre d'éventuelles défaillances, toute absence de messages est considérée comme une défaillance. Le protocole est conçu de telle sorte que le niveau de qualité bascule sur QL-FAILED si aucun message SSM n'est reçu après une période de cinq secondes. On trouvera de plus amples détails à cet égard dans les sections suivantes.

11.3.1 Format du canal ESMC

Le message SSM Ethernet est un protocole lent défini par l'UIT-T pour l'Ethernet. L'IEEE a attribué à l'UIT-T un identificateur propre à une organisation (OUI) et un sous-type de protocole lent. Ceux-ci permettent de distinguer l'unité de données de protocole (PDU) destinée à l'Ethernet. Les valeurs attribuées par l'IEEE sont indiquées dans le Tableau 11-2.

Tableau 11-2 – OUI et sous-type de protocole lent attribués par l'IEEE

Identificateur propre à une organisation	00-19-A7
Sous-type de protocole lent	0x0A

Le niveau de qualité est acheminé dans un champ type-longueur-valeur (TLV) intégré dans l'unité de données de protocole (PDU) du canal ESMC. Deux types de trames PDU sont définis pour le canal ESMC; ils se distinguent par leur indicateur d'événement, à savoir la PDU des informations de l'ESMC et la PDU des événements de l'ESMC.

Un élément de réseau doit ignorer et ne pas faire suivre toute information TLV reçue de la PDU du canal ESMC s'il ne la reconnaît pas.

11.3.1.1 Format de l'unité PDU du canal ESMC

Le format de l'unité PDU du canal ESMC est décrit dans le Tableau 11-3, et le format du champ type-longueur-valeur du niveau de qualité (QL TLV) dans le Tableau 11-4.

Le Tableau 11-3 indique en outre l'emplacement des bits et des octets dans le format de la PDU. L'ordre d'émission est le suivant: l'octet numéro 1 du tableau est émis en premier, et pour chaque octet, le premier bit émis est le bit de plus faible poids (LSB).

Tableau 11-3 – Format de l'unité PDU du canal ESMC

Numéro d'octet	Taille/bits	Champ
1-6	6 octets	Adresse de destination = 01-80-C2-00-00-02 (hex)
7-12	6 octets	Adresse de la source
13-14	2 octets	Ethertype de protocole lent = 88-09 (hex)
15	1 octet	Sous-type de protocole lent = 0A (hex)
16-18	3 octets	OUI de l'UIT = 00-19-A7 (hex)
19-20	2 octets	Sous-type de l'UIT
21	bits 7:4 (Note 1)	Version
	bit 3	Indicateur d'événement
	bits 2:0 (Note 2)	Réservé
22-24	3 octets	Réservé
25-1532	36-1490 octets	Données et remplissage (voir le point j)
Quatre derniers	4 octets	Séquence de contrôle de trame (FCS)
NOTE 1 – Le bit 7 est le bit de plus fort poids de l'octet 21. Les bits 7 à 4 (bits 7:4) contiennent le numéro de version sur quatre bits du canal ESMC.		
NOTE 2 – Les trois bits de plus faible poids (bits 2:0) sont réservés.		

Une unité PDU du canal ESMC comporte les champs suivants, dans l'ordre indiqué ci-dessus:

- a) Adresse de destination (DA): adresse de multidiffusion du protocole lent définie par l'IEEE. Son format est défini à l'Annexe 57B de la norme [IEEE 802.3].
- b) Adresse de la source (SA): adresse MAC associée au port par lequel l'unité PDU du canal ESMC est émise.
- c) Ethertype de protocole lent: l'unité PDU du canal ESMC doit disposer d'un type codé et doit transporter la valeur du champ type du protocole lent. Les Ethertypes sont décrits dans la norme [IEEE 802].
- d) Sous-type de protocole lent: attribué par l'IEEE et fixé par la valeur 0x0A.
- e) OUI de l'UIT: identificateur propre à une organisation, attribué par l'autorité d'enregistrement de l'IEEE.
- f) Le sous-type de l'UIT est attribué par l'UIT-T. La valeur 00-01 est appliquée pour tous les usages prévus dans la présente Recommandation.
- g) Version: ce champ de quatre bits indique la version du format de trame du protocole OSSP. Il doit contenir la valeur 0x1 pour être compatible avec la version 1 de ce protocole.
- h) Indicateur d'événement: ce bit permet de distinguer la PDU des événements de l'ESMC, dont le comportement est critique et qui est sensible au temps, et la PDU des informations de l'ESMC. La valeur 1 désigne une PDU des événements, la valeur 0 une PDU des informations.

NOTE 1 – Le comportement de la PDU des événements est analogue à celui de l'événement critique défini pour la gestion, l'exploitation et la maintenance (OAM) de l'Ethernet dans la section 57 de la norme [IEEE 802.3]. Les messages d'événement doivent répondre aux exigences de temps de traitement définies dans la Recommandation [UIT-T G.781].
- i) Réserve pour une future normalisation (27 bits). Ces champs sont remplis avec des zéros du côté de l'émetteur et sont ignorés par le récepteur.
- j) Données et remplissage: ce champ contient les données et le remplissage nécessaires pour atteindre la taille de trame minimum de 64 octets. La PDU doit comporter un nombre entier d'octets. Les caractères de remplissage sont tous mis à zéro et sont ignorés par les récepteurs.

NOTE 2 – La taille maximum recommandée pour l'unité PDU du canal ESMC est de 128 octets, conformément à l'Annexe 57B de la norme [IEEE 802.3]. Toutefois, des tailles de PDU supérieures à 128 octets peuvent être autorisées.
- k) Séquence de contrôle de trame (FCS): séquence de quatre octets définie dans la section 4 de la norme [IEEE 802.3].

11.3.1.2 Format du champ type-longueur-valeur du niveau de qualité

Le format des données relatives au niveau de qualité est indiqué dans le Tableau 11-4 ci-dessous; ce format est employé aussi bien pour des messages d'information que pour des messages d'événement. La longueur de ce champ TLV recouvre l'ensemble des éléments du champ, y compris les champs type et longueur. Ce format respecte la convention TLV établie dans la section 57.5.2.1 de la norme [IEEE 802.3].

Tableau 11-4 – Format du champ type-longueur-valeur du niveau de qualité

Numéro d'octet	Taille/bits	Champ
1	8 bits	Type: 0x01
2-3	16 bits	Longueur: 00-04
4	bits 7:4 (note)	0x0 (inutilisé)
	bits 3:0	Code de message SSM

NOTE – Le bit 7 est le bit de plus fort poids de l'octet 4. Le quartet de plus faible poids, c'est-à-dire les bits 3 à 0 (bits 3:0), contient le code de message SSM sur quatre bits.

Pour permettre différentes mises en œuvre d'équipements, le champ TLV du niveau de qualité (QL TLV) est toujours envoyé en premier dans le champ données et remplissage, ce qui signifie que l'indication du niveau de qualité reste toujours fixe dans l'unité PDU. Tous les champs TLV supplémentaires (par exemple le champ TLV du niveau de qualité étendu) doivent être envoyés après le champ TLV du niveau de qualité sans remplissage entre eux. Le remplissage ne peut être effectué qu'après le dernier champ TLV.

11.3.1.3 Format du champ type-longueur-valeur du niveau de qualité étendu

Pour prendre en charge les nouvelles horloges et les ajouts de fonctionnalités, un champ type-longueur-valeur du niveau de qualité étendu est défini dans le Tableau 11-5. Ce champ a une longueur de 20 octets et contient les informations de tous les éléments qui le composent. Les nouveaux champs concernant les niveaux de qualité d'horloge sont définis dans le Tableau 11-6; ils couvrent les nouveaux types d'horloge ainsi que le transport de nouvelles informations.

NOTE 1 – Dans de précédentes versions de la présente Recommandation, les octets 4-20 du Tableau 11-5 étaient appelés "SSM étendu". Ce terme n'est plus employé dans cette version de la Recommandation.

NOTE 2 – Ces tableaux peuvent être mis à jour à mesure que de nouvelles horloges seront mises au point.

Tableau 11-5 – Format du champ type-longueur-valeur du niveau de qualité étendu

Numéro d'octet	Taille/bits	Champ
1	8 bits	Type: 0x02
2-3	16 bits	Longueur: 0x0014
4	8 bits	Code de message SSM amélioré (voir le Tableau 11-6)
5-12	64 bits	Identité de l'horloge Ethernet synchrone de la source du champ TLV relatif au niveau de qualité (Note 1)
13	8 bits	Indicateur (Note 2)
14	8 bits	Nombre d'horloges eEEC montées en cascade depuis la SSU, la PRC <u>ou l'ePRC</u> la plus proche
15	8 bits	Nombre d'horloges EEC montées en cascade depuis la SSU, la PRC <u>ou l'ePRC</u> la plus proche
16-20	40 bits	Réservé pour une future utilisation

NOTE 1 – Le format de l'identité de l'horloge Ethernet synchrone (SyncE clockIdentity) est conforme à la présente section. La source du champ TLV relatif au niveau de qualité est l'horloge qui lance ou relance le décompte des horloges montées en cascade dans le champ TLV. Si le décompte des horloges est lancé ou relancé au milieu de la chaîne, le bit de chaîne incomplète prend la valeur 1 (voir la Note 2 et le § 11.3.1.4).

NOTE 2 – Le bit 0 indique une éventuelle combinaison d'horloges EEC et eEEC (il prend la valeur 1 si au moins une des horloges n'est pas une eEEC, et 0 si toutes les horloges sont des eEEC); le bit 1 indique une chaîne incomplète (il prend la valeur 1 si le champ TLV a été produit au milieu de la chaîne et que le décompte des horloges EEC et eEEC est incomplet); les bits 2 à 7 sont réservés pour une future utilisation. Voir également le § 11.3.1.4.

Tableau 11-6 – Codes de message SSM amélioré pour l'Ethernet synchrone

Horloge	Niveau de qualité	Code de message SSM amélioré
EEC1	QL-EEC1	0xFF
EEC2	QL-EEC2	0xFF
Autres types d'horloges définis dans [UIT-T G.781] (note)	Message QL (lié au champ TLV du niveau de qualité) (note)	0xFF
PRTC	QL-PRTC	0x20
ePRTC	QL-ePRTC	0x21
eEEC	QL-eEEC	0x22
<u>ePRC</u>	<u>QL-ePRC</u>	<u>0x23</u>
NOTE – On trouvera dans les Tableaux 11-8 et 11-9 une illustration de l'ensemble complet des types d'horloges définis dans la Recommandation [UIT-T G.781].		

L'identité de l'horloge Ethernet synchrone (champ SyncE clockIdentity) devrait être établie selon les règles suivantes:

- a) Si le nœud Ethernet synchrone prend en charge le champ TLV du niveau de qualité mais pas les horloges PTP, on peut construire l'identité de l'horloge Ethernet synchrone à partir d'un identificateur OUI, d'une adresse MAC moyenne (MA-M) ou d'une adresse MAC courte (MA-S). A cet égard,
 - i) si les trois premiers octets de l'identité de l'horloge Ethernet synchrone sont construits à partir d'un identificateur OUI, l'organisation propriétaire de celui-ci doit s'assurer que les cinq octets restants du champ EUI-64 sont uniques parmi les valeurs de l'identité attribuées par l'organisation;
 - ii) si les 3,5 premiers octets de l'identité de l'horloge Ethernet synchrone sont construits à partir d'une adresse MA-M, l'organisation propriétaire de celle-ci doit s'assurer que les 4,5 octets restants du champ EUI-64 sont uniques parmi les valeurs de l'identité attribuées par l'organisation;
 - iii) si les 4,5 premiers octets de l'identité de l'horloge Ethernet synchrone sont construits à partir d'une adresse MA-S, l'organisation propriétaire de celle-ci doit s'assurer que les 3,5 octets restants du champ EUI-64 sont uniques parmi les valeurs de l'identité attribuées par l'organisation.
- b) Si le nœud Ethernet synchrone prend en charge le champ TLV du niveau de qualité ainsi qu'une horloge PTP conforme à la norme [b-IEEE 1588], et
 - i) si les trois premiers octets de l'identité de l'horloge Ethernet synchrone sont construits à partir d'un identificateur OUI et que l'organisation a attribué de manière unique les cinq octets restants, l'horloge Ethernet synchrone peut utiliser l'identité d'horloge PTP à titre d'identité de l'horloge Ethernet synchrone, ou employer la règle a) ci-dessus pour produire une identité de l'horloge Ethernet synchrone distincte; sinon
 - ii) si l'identité d'horloge PTP est construite à partir d'un champ EUI-48 ou d'un champ EUI-64 non conforme aux normes de l'IEEE, l'horloge Ethernet synchrone devrait employer la règle a) ci-dessus pour produire l'identité de l'horloge Ethernet synchrone.
- c) Si le nœud Ethernet synchrone prend en charge le champ TLV du niveau de qualité ainsi qu'une horloge PTP et que l'identité d'horloge PTP est construite:
 - i) en utilisant un identificateur OUI pour les trois premiers octets, tandis que l'organisation attribue de manière unique les cinq octets restants; ou

- ii) en utilisant une adresse MAC moyenne (MA-M) pour les 3,5 premiers octets, tandis que l'organisation attribuée de manière unique les 4,5 octets restants; ou encore
- iii) en utilisant une adresse MAC courte (MA-S) pour les 4,5 premiers octets, tandis que l'organisation attribuée de manière unique les 3,5 octets restants,

l'horloge Ethernet synchrone peut employer cette identité d'horloge PTP à titre d'identité de l'horloge Ethernet synchrone, ou employer la règle a) ci-dessus pour produire une identité de l'horloge Ethernet synchrone distincte.

11.3.1.4 Interfonctionnement entre différentes générations d'Ethernet synchrone

Si le champ TLV du niveau de qualité étendu est destiné à être exploité dans une horloge eEEEC, son mécanisme de base pourrait aussi s'appliquer à l'avenir à l'ancien modèle EEC. Il convient alors de prendre en considération trois combinaisons d'horloges possibles: eEEEC prenant en charge le champ TLV du niveau de qualité étendu, EEC sans prise en charge du champ TLV du niveau de qualité étendu, et EEC prenant en charge le champ TLV du niveau de qualité étendu.

Si des nœuds ont déjà été installés et qu'ils ne prennent pas en charge le champ TLV du niveau de qualité étendu, il reste possible d'assurer l'interfonctionnement entre différentes générations d'Ethernet synchrone en faisant en sorte qu'un élément de réseau soit ignoré et que tout champ TLV reçu dans l'unité PDU du canal ESMC ne soit pas transmis s'il n'est pas reconnu.

Le champ TLV du niveau de qualité étendu permet de compter le nombre d'horloges eEEEC et EEC montées en cascade. Si la chaîne d'horloges contient une horloge qui ne prend pas ce champ en charge, le fait d'ignorer le champ TLV (comme indiqué ci-dessus) entraînera des décomptes incomplets. Le champ TLV du niveau de qualité étendu spécifie un indicateur permettant aux horloges qui prennent en charge les messages ESMC améliorés de signaler la présence d'horloges susceptibles d'avoir ignoré des champs TLV.

Ainsi, dans le cas d'une chaîne d'horloges eEEEC, les bits 0 et 1 auront tout deux pris la valeur 0 à la sortie de la chaîne pour indiquer que la chaîne Ethernet synchrone est entièrement fondée sur des horloges eEEEC et que le décompte des horloges est complet.

Dans le cas d'une horloge EEC intermédiaire incapable de traiter le champ TLV du niveau de qualité étendu, cette horloge va ignorer le champ TLV. Lorsque la chaîne Ethernet synchrone rencontrera l'horloge eEEEC suivante, les bits 0 et 1 fixés à la valeur 1 seront ajoutés au champ TLV pour indiquer que la chaîne n'est pas entièrement fondée sur des horloges eEEEC et que le décompte des horloges est incomplet.

En revanche, si l'horloge EEC intermédiaire est capable de traiter le champ TLV du niveau de qualité étendu, à la sortie de cette horloge EEC le bit 0 sera fixé à la valeur 1 pour indiquer que la chaîne Ethernet synchrone comprend une combinaison d'horloges EEC et eEEEC, et le bit 1 prendra la valeur 0 pour indiquer que le décompte des horloges de la chaîne est complet.

11.3.2 Comportement du protocole

L'unité PDU du canal ESMC contient le champ TLV du niveau de qualité destiné à l'Ethernet synchrone. La sélection de la source de synchronisation au moyen d'un message SSM est définie dans la Recommandation [UIT-T G.781]. Celle-ci est applicable aussi bien à une hiérarchie SDH qu'à un réseau Ethernet synchrone. Néanmoins, le protocole permettant d'acheminer les messages SSM diffère entre la hiérarchie SDH et l'Ethernet synchrone. Le fait de prétraiter les fonctions atomiques pertinentes permet de fournir une interface uniforme à l'algorithme de traitement de la synchronisation. Le protocole décrit dans la présente section est conforme aux exigences des protocoles lents énoncées dans l'Annexe 57B de la norme [IEEE 802.3].

Le code SSM figurant dans le champ TLV du niveau de qualité indique la précision en fonctionnement libre de l'horloge servant de source pour le chemin de synchronisation au moment

considéré. Les limites de temps de traitement propres à ces messages sont définies dans la Recommandation [UIT-T G.781].

NOTE – Les temps de traitement sont définis pour des conditions idéales. Il peut arriver que ces temps ne soient pas respectés.

Lorsqu'un élément de réseau fonctionne dans un mode prenant en charge le niveau de qualité, la production et la réception du protocole doivent être conformes aux critères définis ci-dessous, respectivement dans les §§ 11.3.2.1 et 11.3.2.2. La fonction de sélection de la synchronisation présentée dans l'Annexe A de la Recommandation [UIT-T G.781] a été élaborée au moyen de descripteurs du langage SDL. Les aspects critiques de l'algorithme sont fondés sur le niveau de qualité passé en entrée pour chacune des p entrées (c'est-à-dire les entrées QL[p] indiquées dans la Recommandation [UIT-T G.781]). Le niveau de qualité passé en sortie (QL_out) est le code SSM devant être transmis aux ports de sortie de l'élément de réseau. La Recommandation [UIT-T G.781] contient une description des cas dans lesquels il faut employer l'instruction DNU au lieu du niveau de qualité actif. L'Annexe A de cette Recommandation est normative; elle décrit le comportement de l'élément de réseau mais n'impose pas nécessairement de mise en œuvre particulière.

Dans le cadre de la présente Recommandation, les états du niveau de qualité servent à décrire le comportement du protocole. L'état du niveau de qualité pris en compte à cet égard est celui qui est passé en entrée à l'algorithme de sélection de la synchronisation dans l'interface SD_CI.

La production du protocole est fondée sur l'état de QL_out, tandis que la réception dépend de l'état de QL[p]. Par hypothèse, ces états sont maintenus au sein des fonctions atomiques pertinentes (c'est-à-dire les fonctions ETY/SD ou MS/SD) respectivement dans un réseau Ethernet synchrone ou une hiérarchie SDH.

11.3.2.1 Production du niveau de qualité

La PDU des informations de l'ESMC, qui contient le niveau de qualité employé par l'algorithme de sélection de l'horloge système au moment considéré, est produite une fois par seconde.

Si le niveau de qualité change, une PDU des événements de l'ESMC (c'est-à-dire l'attribution d'une valeur à l'indicateur d'événement) contenant le nouveau champ TLV du niveau de qualité est produite dès que le changement est détecté, sous réserve des temps de transfert et de traitement des messages indiqués dans la Recommandation [UIT-T G.781].

On ne peut en aucun cas produire plus de dix unités PDU du canal ESMC (que ce soit pour des informations ou des événements) dans une période quelconque d'une seconde, conformément à l'Annexe 57B de la norme [IEEE 802.3].

NOTE – L'unité PDU du canal ESMC n'est que l'une des PDU du protocole lent susceptibles d'être présentes dans un système. La norme [IEEE 802.3] fixe une limite au nombre total de protocoles lents, chacun d'eux ne pouvant transmettre au plus que dix trames par seconde. Pour mettre en œuvre plusieurs protocoles lents, il faut tenir compte du fait que le type de message d'événement est sensible au temps.

Des codes SSM sont définis pour les différentes options régionales.

Pour des réseaux de l'option 1, une horloge ne prenant en charge que le champ TLV du niveau de qualité doit établir le code de message SSM conformément au Tableau 11-7, puis envoyer ce champ.

Si une horloge d'un réseau de l'option 1 prend en charge à la fois le champ TLV du niveau de qualité et le champ TLV du niveau de qualité étendu, elle doit établir le code de message SSM et le code de message SSM amélioré conformément au Tableau 11-8, puis envoyer ces deux champs dans la même unité PDU du canal ESMC.

Pour des réseaux de l'option 2, une horloge ne prenant en charge que le champ TLV du niveau de qualité doit établir le code de message SSM conformément au Tableau 11-8, puis envoyer ce champ.

Si une horloge d'un réseau de l'option 2 prend en charge à la fois le champ TLV du niveau de qualité et le champ TLV du niveau de qualité étendu, elle doit établir le code de message SSM et le code de

message SSM amélioré conformément au Tableau 11-9, puis envoyer ces deux champs dans la même unité PDU du canal ESMC.

Pour des réseaux de l'option 3, les codes de message SSM et les codes de message SSM amélioré destinés à l'Ethernet synchrone doivent faire l'objet d'un complément d'étude.

Tableau 11-7 – Codes de message SSM et codes de message SSM amélioré pour l'Ethernet synchrone dans des réseaux de l'option 1

Horloge	Niveau de qualité	Code de message SSM	Code de message SSM amélioré
PRC	QL-PRC	0010	0xFF
SSU-A	QL-SSU-A	0100	0xFF
SSU-B	QL-SSU-B	1000	0xFF
EEC1	QL-EEC1	1011	0xFF
(Note 1)	QL-DNU	1111	0xFF
PRTC	QL-PRTC	0010	0x20
ePRTC	QL-ePRTC	0010	0x21
eEEC	QL-eEEC	1011	0x22
ePRC	QL-ePRC	0010	0x23

NOTE 1 – Aucune horloge ne correspond à ce niveau de qualité.
 NOTE 2 – Lors du traitement du niveau de qualité indiqué dans le message SSM, il faut traiter en premier le code de message SSM, puis le code de message SSM amélioré.

Tableau 11-8 – Codes de message SSM et codes de message SSM amélioré pour l'Ethernet synchrone dans des réseaux de l'option 2

Horloge	Niveau de qualité	Code de message SSM	Code de message SSM amélioré
PRS	QL-PRS	0001	0xFF
(Note 1)	QL-STU	0000	0xFF
ST2	QL-ST2	0111	0xFF
TNC	QL-TNC	0100	0xFF
ST3E	QL-ST3E	1101	0xFF
ST3	QL-ST3	1010	0xFF
EEC2	QL-EEC2	1010	0xFF
(Note 1)	QL-PROV	1110	0xFF
(Note 1)	QL-DUS	1111	0xFF
PRTC	QL-PRTC	0001	0x20
ePRTC	QL-ePRTC	0001	0x21
eEEC	QL-eEEC	1010	0x22
ePRC	QL-ePRC	0001	0x23

NOTE 1 – Aucune horloge ne correspond à ce niveau de qualité.
 NOTE 2 – Lors du traitement du niveau de qualité indiqué dans le message SSM, il faut traiter en premier le code de message SSM, puis le code de message SSM amélioré.

11.3.2.2 Réception du niveau de qualité

L'état QL_out du niveau de qualité est employé par l'algorithme de sélection de la synchronisation décrit dans la Recommandation [UIT-T G.781] (voir l'Annexe A de cette Recommandation). Dans le cas de l'Ethernet synchrone, le protocole lent utilisé pour transmettre le code de message SSM est fondé sur l'emploi d'un temporisateur de "rythme cardiaque". Les PDU des informations de l'ESMC sont envoyées de manière régulière, au rythme d'une PDU par seconde. Si aucune PDU n'a été reçue après cinq secondes, la variable SSF prend la valeur "true" (QL=QL-FAILED en mode QL-Enabled). La référence de synchronisation est alors soumise à une période d'attente avant rétablissement au sens de la Recommandation [UIT-T G.781].

La valeur par défaut (valeur initiale) du niveau de qualité est DNU (ne pas utiliser); elle ne doit changer que si un champ TLV valable contenant le niveau de qualité est reçu.

Dès réception d'un champ TLV d'événement, l'état du niveau de qualité est modifié et prend la nouvelle valeur, tandis que le temporisateur est remis à zéro.

11.4 Extensions de l'unité PDU du canal ESMC

Les futures extensions de l'unité PDU du canal ESMC doivent faire l'objet d'un complément d'étude. Il est néanmoins probable qu'elles soient définies au regard d'un format de champ TLV. Ce format est décrit dans le Tableau 11-9. La taille du champ TLV correspond au nombre total d'octets dans la structure TLV. La longueur de ce champ comprend notamment les champs type et longueur. Il est nécessaire d'employer des données de remplissage pour s'assurer que le champ TLV contient un nombre entier d'octets.

NOTE – On utilise deux octets pour représenter la longueur du champ. La taille maximum proposée pour l'unité PDU d'un protocole lent est de 128 octets, conformément à l'Annexe 57B de la norme [IEEE 802.3]. Toutefois, des tailles de PDU supérieures à 128 octets peuvent être autorisées.

L'utilisation détaillée du champ TLV doit faire l'objet d'un complément d'étude.

Tableau 11-9 – Structure du champ TLV

1 octet	Type
2 octets	Longueur (octets)
N octets	Données et remplissage

11.5 Interfonctionnement avec des réseaux de synchronisation existants

Voir le § A.5 de la Recommandation [UIT-T G.8261].

11.6 Message SSM destiné aux horloges disposant d'un mode maintien amélioré

Dans des éléments de réseaux comportant des horloges EEC, il peut arriver que certaines de ces horloges disposent d'un mode maintien d'une qualité supérieure à celle qui est définie dans la Recommandation [UIT-T G.8262]. Dans ce cas, si le reste de la chaîne de rythme ne comporte pas d'unité de synchronisation (SSU) permettant d'alimenter le mode maintien amélioré, il peut être préférable que l'élément de réseau rejette localement les données d'entrée lorsque le niveau de qualité en entrée est égal à celui de l'horloge EEC, et qu'il s'appuie alors sur le mode maintien de son horloge interne pour piloter les horloges en aval plutôt que de continuer à suivre les données d'entrée. Cette méthode peut offrir une meilleure qualité de fonctionnement aux horloges en aval dans certaines applications.

On peut obtenir ce comportement si le niveau de qualité est correctement communiqué au nœud. Lorsque le comportement du mode maintien est compatible avec les horloges existantes, il convient d'employer la valeur de niveau de qualité pertinente (par exemple SSU-A ou SSU-B), conformément à la Recommandation [UIT-T G.781].

On peut aussi obtenir des comportements analogues en modifiant le niveau de qualité entrant (par exemple en passant de QL=EEC à QL=DNU) dans certaines circonstances.

Dans ces deux méthodes, il convient de configurer avec prudence la modification de comportement de l'élément de réseau afin que ce comportement reste compatible avec le plan de synchronisation général du réseau de l'opérateur.

12 Emploi de l'Ethernet synchrone dans le contexte de plusieurs opérateurs

Il peut arriver que la référence temporelle doive être distribuée à plusieurs opérateurs. Cette situation correspond au cas dans lequel le signal de rythme d'un opérateur est acheminé dans le réseau d'un autre opérateur. Ce signal peut être envoyé vers un équipement d'extrémité (par exemple une station de base (SB)) qui peut avoir besoin d'une référence temporelle (voir la Figure 12-1).

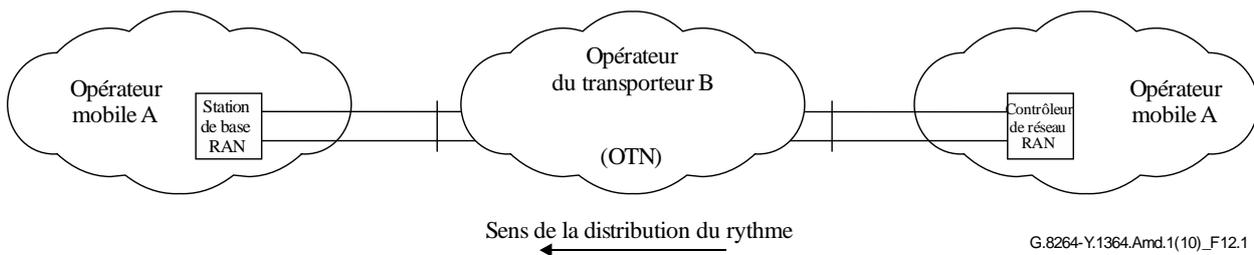


Figure 12-1 – Illustration d'un contexte comportant plusieurs opérateurs

Les termes "opérateur du transporteur" et "opérateur mobile" seront employés dans les descriptions suivantes pour illustrer l'analyse par un cas réaliste; ils n'ont cependant pour but de limiter l'analyse à ce cas unique, et il convient de considérer que les cas présentés ici sont aussi génériques que possible.

Lorsque le rythme est transporté par un Ethernet synchrone, on peut envisager deux démarches différentes, fondées sur le réseau de l'opérateur du transporteur, pour fournir une référence temporelle à l'équipement d'extrémité, selon que le signal client de l'Ethernet synchrone est acheminé de manière transparente ou non du point de vue du rythme.

De fait, en fonction du type de service géré Ethernet proposé par l'opérateur du transporteur, un signal Ethernet synchrone émis par un opérateur mobile peut être transporté de manière non transparente au regard de sa référence temporelle (c'est par exemple le cas lorsque la couche physique du réseau transporteur est un réseau Ethernet). Dans cette situation de non-transparence du rythme, le signal client Ethernet à la sortie du service géré Ethernet ne transporte pas la référence temporelle originale du réseau Ethernet synchrone.

Dans le cas d'un réseau de transport optique (OTN), la transparence du rythme est prise en charge conformément à la Recommandation [UIT-T G.709]. Ainsi, la méthode de mappage TTT+GMP définie dans cette Recommandation permet de transporter le rythme de manière transparente dans des signaux client Ethernet synchrone par un réseau OTN.

La question du transport transparent du rythme par un service géré Ethernet est examinée dans le § 12.1, et la question de ce transport non transparent est examinée dans le § 12.2.

12.1 Transport transparent du rythme par les signaux d'un service géré Ethernet

Cette première méthode repose sur l'hypothèse selon laquelle les informations de rythme intégrées dans les signaux clients d'un Ethernet synchrone peuvent être transportées de manière transparente par le réseau de l'opérateur du transporteur. Ce transport peut par exemple être effectué via un réseau OTN, avec un mappage transparent du rythme. Comme nous l'avons indiqué, on peut prendre en

exemple le transport d'un signal client par une transmission 1000Base-X, qui repose sur le mappage TTT+GMP défini dans la Recommandation [UIT-T G.709]. Ce mappage permet de transporter le train binaire du signal client par le réseau transporteur, y compris le rythme et le message ESMC.

L'opérateur du transporteur mappe et démappe le signal client de l'Ethernet synchrone, et il transporte le signal de rythme et les messages ESMC de manière transparente par le réseau de transport OTN (celui-ci ignorant la présence du rythme et des messages ESMC dans le signal client). L'ensemble de la connexion établie par l'opérateur du transporteur repose sur un équipement OTN. Ce scénario est illustré dans la Figure 12-2.

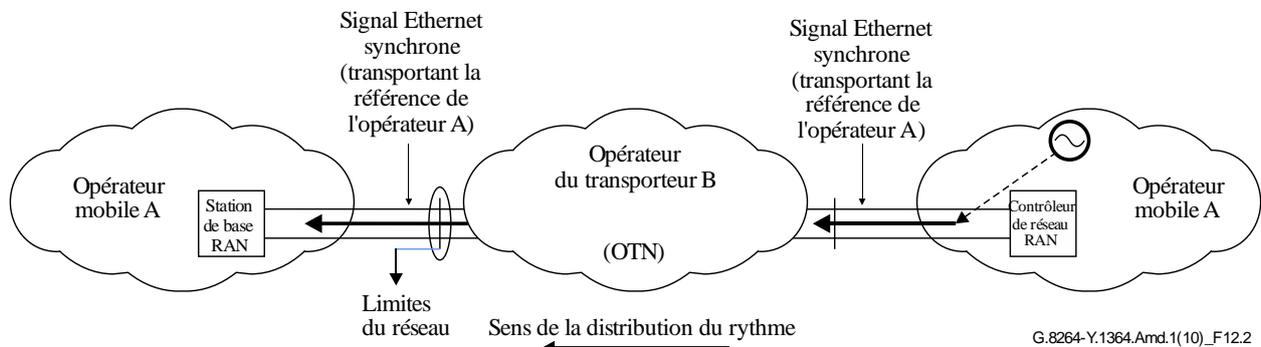


Figure 12-2 – Illustration d'un transport transparent de rythme dans les signaux clients de l'Ethernet synchrone dans le contexte de plusieurs opérateurs

Dans ce scénario:

- Le signal Ethernet synchrone émis par l'opérateur mobile transporte la référence temporelle de l'opérateur mobile, y compris les messages ESMC.
- Ce signal (c'est-à-dire le train binaire, y compris le rythme et les messages ESMC) est transporté de manière transparente dans le réseau de l'opérateur du transporteur.
- L'opérateur mobile reçoit et utilise sa propre référence temporelle, y compris les messages ESMC qui ont été transportés dans le réseau de l'opérateur du transporteur pour synchroniser l'équipement d'extrémité de son réseau mobile.

Il convient de noter que cette méthode est entièrement cohérente avec la situation habituelle du transport transparent de rythme dans des signaux TDM (par exemple lorsque des signaux PDH sont transportés par un réseau PDH, ou des signaux SDH sont transportés par un réseau OTN).

Les limites du réseau à la sortie du réseau de l'opérateur du transporteur correspondent aux limites du réseau Ethernet synchrone, au sens le § 9.2.1 de la Recommandation [UIT-T G.8261].

12.2 Service de synchronisation fourni par l'opérateur du transporteur grâce à une interface comportant une référence temporelle physique (production d'une interface pour l'Ethernet synchrone)

Cette seconde méthode concerne le cas dans lequel le réseau de l'opérateur du transporteur est un réseau par paquets (par exemple un Ethernet) qui ne peut traiter de manière transparente les signaux de rythme de la couche physique comme l'Ethernet synchrone. Cette situation peut se produire par exemple lorsqu'on emploie les services d'une ligne privée Ethernet (EPL) et d'une ligne virtuelle privée Ethernet (EVPL) au sens de la Recommandation [b-UIT-T G.8011] (c'est-à-dire que toutes les trames Ethernet sont transportées de l'entrée à la sortie par le réseau de l'opérateur du transporteur, mais que le rythme n'est pas transporté).

L'opérateur du transporteur peut cependant proposer de fournir une référence temporelle à l'opérateur mobile. Ainsi, le signal Ethernet synchrone envoyé à la sortie du réseau de l'opérateur du transporteur

peut être émis avec la référence temporelle de cet opérateur. Dans une telle situation, les deux opérateurs doivent s'être entendus au préalable. Ce scénario est illustré dans la Figure 12-3.

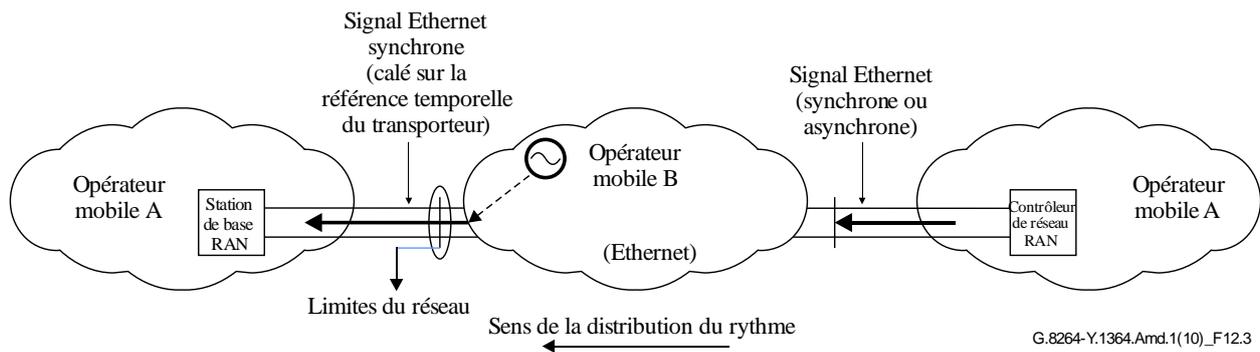


Figure 12-3 – Illustration d'un service de synchronisation de l'Ethernet synchrone dans le contexte de plusieurs opérateurs

Dans ce scénario:

- L'opérateur mobile s'abonne à un service de synchronisation particulier (qui peut faire partie de l'offre de connectivité de raccordement mobile);
- Il envoie un signal Ethernet transportant son trafic, mais la référence temporelle de la source ne peut être acheminée par le réseau du transporteur. Les messages ESMC de l'opérateur mobile ne sont pas non plus transmis au réseau de l'opérateur du transporteur. Il n'est alors pas nécessaire que le signal Ethernet d'entrée soit Ethernet synchrone;
- L'opérateur du transporteur fournit le rythme, y compris les messages ESMC, à l'extrémité du réseau du transporteur; le signal Ethernet synchrone est alors calé sur l'horloge intégrée dans le réseau du transporteur. Cette méthode repose sur l'hypothèse selon laquelle les messages ESMC produits par l'opérateur du transporteur peuvent être insérés dans le signal Ethernet synchrone de sortie avec le trafic de données de l'opérateur mobile. Les cas particuliers dans lesquels l'insertion de messages ESMC ne peut être traitée correctement (par exemple dans des services transparents aux bits transmis) doivent faire l'objet d'un complément d'étude;
- Les équipements de l'opérateur mobile utilisent la référence temporelle et les messages ESMC fournis par le réseau de l'opérateur du transporteur.

Il convient de noter que cette seconde méthode n'est applicable que lorsque l'équipement d'extrémité nécessite une référence temporelle absolue (par exemple le calage sur une horloge de référence primaire (PRC)). Ainsi, pour fournir une référence temporelle à une station de base, au lieu d'envoyer la référence de l'opérateur mobile en se calant sur le temps universel coordonné (UTC), on peut envoyer la référence temporelle de l'opérateur du transporteur, qui sera également calée sur l'UTC.

Pour des applications finales TDM calées sur des horloges PRC ou ePRC, pour lesquelles il est nécessaire de contrôler le taux de glissement, il convient de mentionner que cette situation peut être assimilée au mode pseudo-synchrone défini dans la Recommandation [b-UIT-T G.810]. Ce mode est parfois employé dans le même domaine de réseau (par exemple lorsqu'on utilise plusieurs PRC ou ePRC), et il permet tout de même de contrôler un éventuel taux de glissement TDM conformément à la Recommandation [UIT-T G.822].

Les limites du réseau à la sortie du réseau de l'opérateur du transporteur correspondent aux limites du réseau Ethernet synchrone telles que définies dans la section 9.2.1 de la Recommandation [UIT-T G.8261].

Dans cette seconde méthode, le signal Ethernet synchrone à la sortie du réseau de l'opérateur du transporteur doit acheminer une valeur du message SSM dans le canal ESMC. Les informations figurant dans l'ESMC sont convenues entre les opérateurs.

13 Éléments de gestion de la synchronisation

Ce point doit faire l'objet d'un complément d'étude.

Annexe A

Mécanisme de sélection de la source de référence

(Cette Annexe fait partie intégrante de la présente Recommandation.)

Un équipement Ethernet synchrone doit disposer d'un mécanisme lui permettant de choisir sa source de référence afin de pouvoir caler sa fréquence sur des éléments en amont, et en définitive sur l'horloge PRC (ou ePRC).

A.1 Exigences

Le mécanisme de sélection commande les flux de rythme physiques au sein de l'équipement.

Il doit être capable de choisir:

- Une source de référence externe adéquate;
- Une source de référence de trafic adéquate;
- Une horloge interne (c'est-à-dire un oscillateur local).

Il ne faut pas choisir de référence auprès d'une source de trafic Ethernet s'il ne s'agit pas d'une interface Ethernet synchrone.

A.2 Source

La source de synchronisation du nœud peut être:

- Une référence externe passée en entrée;
- Une référence d'horloge obtenue auprès de la ligne.

A.3 Oscillateur interne

Cet oscillateur permet d'effectuer des fonctions de filtrage et d'assurer le mode maintien.

A.4 Flux de rythme physique interne– Fréquence de la couche ETY

Un certain nombre de flux de rythme physique interne sont nécessaires pour synchroniser la couche ETY (PHY Ethernet).

A.5 Mécanisme de sélection

L'équipement Ethernet synchrone doit prendre en charge un mécanisme de sélection permettant d'obtenir la synchronisation auprès de la ligne (c'est-à-dire des interfaces transportant le trafic), auprès d'interfaces de synchronisation externe (c'est-à-dire fournies par un équipement copositionné) ou de manière interne auprès de l'horloge EEC. Ce mécanisme peut exploiter l'ensemble des messages SSM. La Figure A.1 contient la représentation générale d'un mécanisme de sélection d'un sous-système de synchronisation destiné à un équipement Ethernet synchrone.

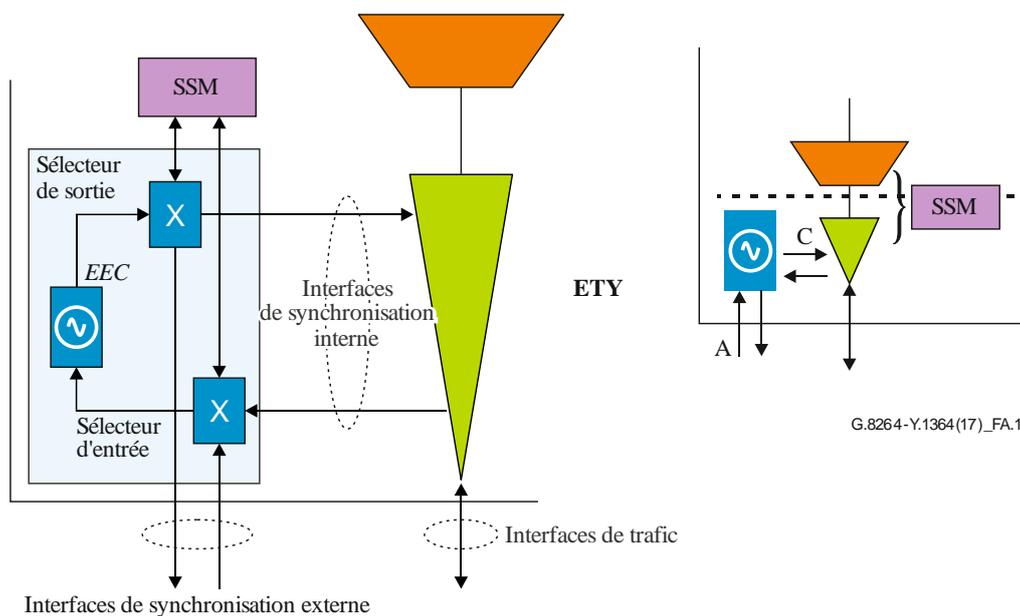


Figure A.1 – Équipement Ethernet synchrone – Représentation générale d'un mécanisme de sélection d'un sous-système de synchronisation

L'horloge EEC intégrée dans le sous-système de synchronisation interne doit être conforme à la Recommandation [UIT-T G.8262].

L'équipement Ethernet synchrone doit être capable d'obtenir la synchronisation auprès des données de synchronisation fournies en entrée par des interfaces de trafic, via des "interfaces de synchronisation interne", et/ou par des "interfaces de synchronisation externe". Ces données sont alors injectées dans un sous-système de synchronisation interne.

Ce sous-système doit offrir un niveau de qualité suffisant en matière de filtrage et de maintien et doit pouvoir établir n'importe quel message de synchronisation.

Il doit en outre être capable de choisir une autre source de synchronisation en se référant à des tables de priorité et en exploitant les messages d'état de synchronisation.

Il doit aussi utiliser les messages SSM pour établir la priorité et se caler sur une horloge.

Enfin, il doit fournir des horloges présentant des fréquences adéquates (interfaces de synchronisation interne) afin de verrouiller la couche ETY de l'interface de trafic.

A.6 Sélection du message d'état de synchronisation

Les messages SSM sont indispensables pour permettre à un élément en aval nécessitant une synchronisation de connaître la qualité de l'horloge en amont.

Le message de synchronisation doit être "poussé" de dispositif en dispositif parmi les dispositifs prenant en charge l'Ethernet synchrone. Dans chacun de ces dispositifs, il doit être traité afin de déclencher les actions requises. L'ensemble de messages doit ensuite être reconstruit et être transmis à l'élément suivant en aval.

Le sous-système de synchronisation doit être capable de choisir une autre source en fonction de la priorité et du message SSM.

A.7 Fonction de sélection d'un équipement hybride

La Figure A.2 illustre le mécanisme de sélection équivalent pour une fonction de source de rythme d'équipement synchrone (SETS) SDH ayant été adaptée à un équipement hybride SDH/Ethernet

synchrone qui dispose d'interfaces Ethernet synchrone et SDH. L'entrée (TE et T1) et la sortie (T0) du réseau ETY et du module STM-N correspondent aux diverses interfaces de trafic Ethernet (100Base-TX, 1000Base-SX, etc.) et SDH. Le générateur de rythme d'équipement synchrone (SETG) possède les caractéristiques définies dans la Recommandation [UIT-T G.8262] pour l'Ethernet synchrone et dans les Recommandations [UIT-T G.813] et [UIT-T G.812] pour la hiérarchie SDH. Il convient aussi de noter que, dans les réseaux d'Amérique du Nord, l'emploi de l'interface T4 ne permet de fournir le rythme de réseau qu'à un module intégré de synchronisation (BITS) ou à une unité SSU. Le choix des interfaces de ligne (par exemple TE ou T1 dans la Figure A.2) ne peut se faire qu'au moyen du sélecteur A. Le sélecteur C ne peut choisir la sortie qu'à partir du sélecteur A. L'interface T4 n'est pas filtrée par le générateur SETG car le filtrage est effectué par le module BITS ou l'unité SSU.

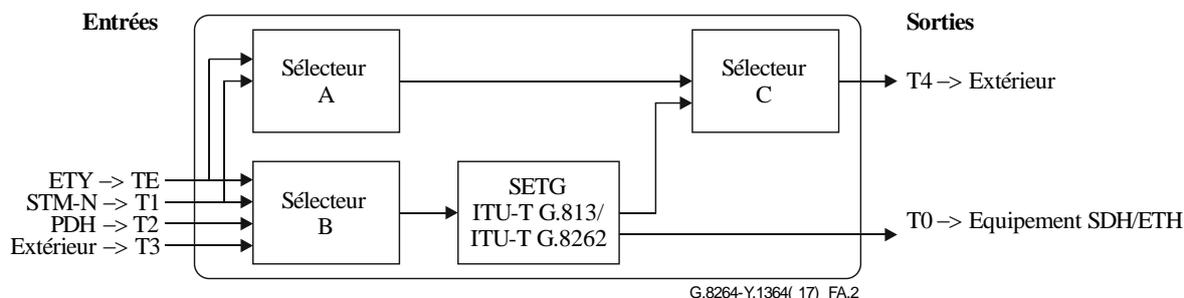


Figure A.2 – Fonction SETS hybride SDH/Ethernet synchrone

Appendice I

Exemples de flux de rythme

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

La Figure 1.1 offre un exemple représentatif de la manière de rassembler différents flux de rythme en exploitant un simple circuit TDM sur une liaison Ethernet.

Un train binaire d'une hiérarchie numérique plésiochrone (PDH) entre dans l'équipement [A]. Entre l'équipement [A] et l'équipement [B], un flux de rythmes de "service" logique est présent entre les premiers points d'adaptation. Tout décalage injecté dans la fonction Ethernet/TDM au niveau de l'équipement [A] doit être maintenu en sortie au niveau de l'équipement [B].

Pour faciliter le flux de rythme et s'assurer que l'intégrité de l'ordre est préservée, il faut employer une forme quelconque d'horodatage, par exemple le mode RTP. Cet horodatage constitue un flux de messages. Entre l'équipement [A] et l'équipement [B], il existe un flux de rythmes de messages logique qui alimente le flux de service.

Au niveau de la couche physique, l'équipement [A] est physiquement raccordé à l'équipement [B] par des points de terminaison de chemin. Cette connexion fournit la liaison ou le support physique par lequel transite le débit brut. Le service de la couche supérieure est mis en paquets et transporté par cette liaison. Entre l'équipement [A] et l'équipement [B], il existe un flux de rythmes physique, et l'horloge du réseau fait partie intégrante du code en ligne au niveau de la couche ETY.

Entre l'équipement [A] et l'équipement [B], il existe aussi un certain nombre de flux de rythmes physiques point à point qui prennent en charge les fonctions d'adaptation et de mise en paquets. La fréquence de ces flux est calée sur l'horloge intégrée.

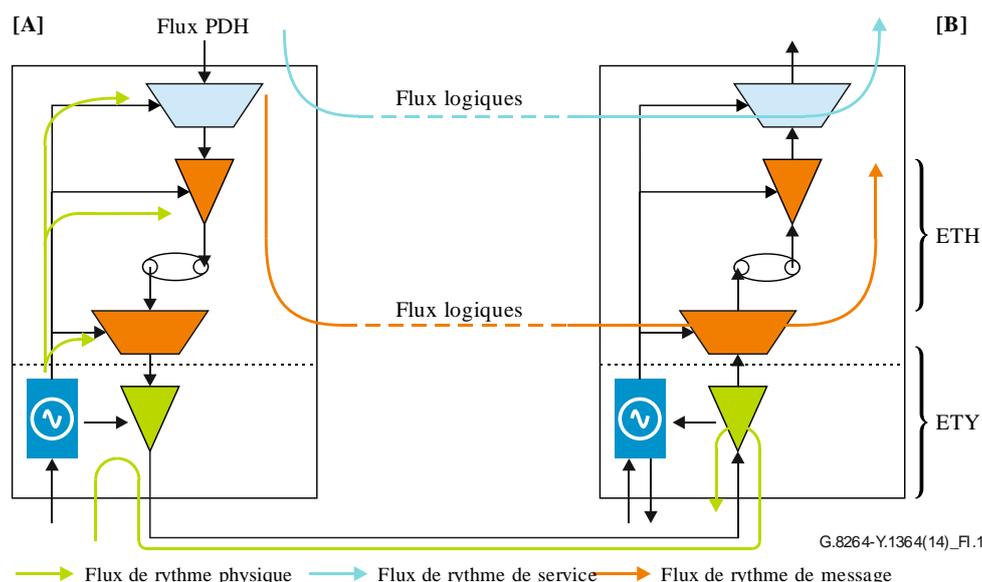


Figure I.1 – Exemple de flux

La Figure I.2 présente le modèle général de la Recommandation [UIT-T G.8010], qui a été étendu pour montrer deux flux ETH unidirectionnels nécessaires à la prise en charge de l'émulation de circuit TDM bidirectionnel. Dans cette figure, le circuit TDM a été ajouté aux fonctions d'adaptation de la couche ETH qui seraient nécessaires pour prendre en charge le TDM sur un réseau Ethernet, ainsi que la couche physique (ETY). Des fonctions approchées sont également représentées (dans l'encadré en pointillés); elles sont analysées dans l'Appendice I de la Recommandation [UIT-T G.8261].

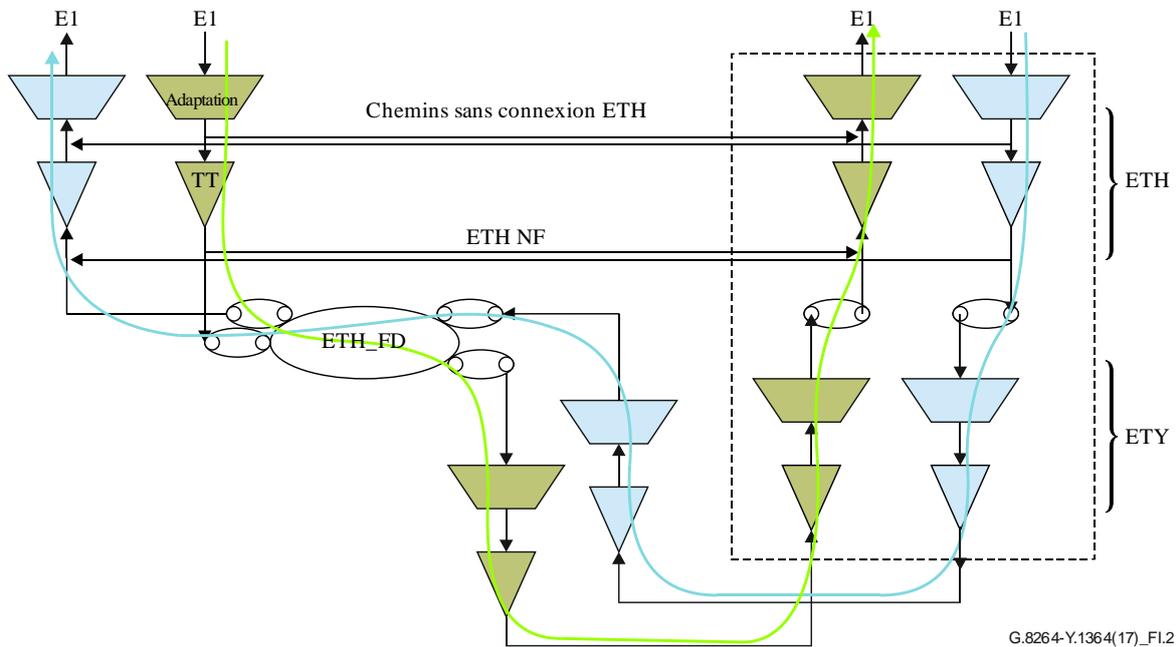


Figure I.2 – Architecture de réseau Ethernet conforme à la Recommandation UIT-T G.8010 et comportant une émulation de circuit et des chemins de synchronisation

La Figure I.3 présente une extension supplémentaire de ce modèle, qui comprend des commutateurs intermédiaires et éventuellement une distribution du rythme au sein de chaque commutateur. Un seul sens est illustré dans cette figure. Dans ce cas particulier, la configuration du rythme montre que l'une des fonctions d'interfonctionnement (IWF) est synchronisée de manière externe, tandis que l'autre est synchronisée via la liaison entrante de la couche physique. Si les horloges de référence sont calées sur une horloge PRC ou ePRC, c'est en définitive la même horloge (c'est-à-dire l'horloge UTC) qui est disponible pour les deux fonctions IWF.

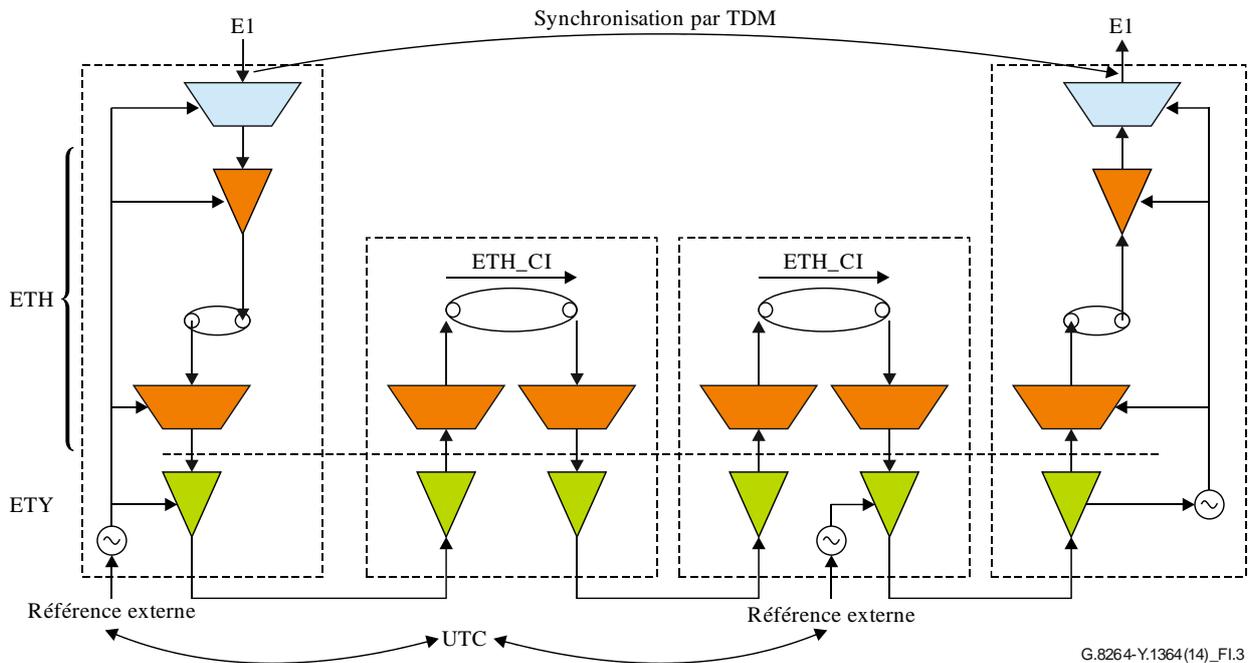


Figure I.3 – Multiplexage TDM sur un réseau Ethernet

Appendice II

Modèles fonctionnels fondés sur les Recommandations UIT-T G.805 et UIT-T G.809

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

II.1 Contexte

On trouvera dans le présent Appendice une description de l'état d'avancement de la modélisation en matière de synchronisation; ce document reprend quelques-unes des notions fondamentales définies dans la Recommandation [UIT-T G.805].

L'architecture des réseaux Ethernet est décrite dans la Recommandation [UIT-T G.8010], dont les définitions sont fondées sur des éléments des Recommandations [UIT-T G.805] et [UIT-T G.809]. Ces deux derniers documents présentent des méthodes de modélisation élaborées par l'UIT-T qui permettent d'établir une spécification formelle des architectures et des équipements de réseau.

La Recommandation [UIT-T G.8261] contient une brève description de la fonction d'interfonctionnement (IWF) nécessaire pour transporter des charges utiles en multiplexage par répartition dans le temps (TDM) dans un réseau par paquets. Le présent Appendice présente un exemple de composantes qui pourraient être nécessaires pour transporter l'émulation de services d'une hiérarchie numérique plésiochrone (PDH) dans un réseau par paquets. La description de la fonction IWF figurant dans la Recommandation [UIT-T G.8261] ne présente pas cette fonction au regard des méthodes de modélisation définies dans la Recommandation [UIT-T G.805]. En effet, certains aspects liés à la synchronisation ne peuvent être décrits dans le contexte de ces méthodes. Il est donc nécessaire à cette fin d'apporter des extensions aux modèles de la Recommandation [UIT-T G.805]. On trouvera dans le présent Appendice quelques modèles fonctionnels préliminaires.

La fonction IWF décrite dans la Figure B.4 de la Recommandation [UIT-T G.8261] contient un certain nombre d'éléments fondamentaux pour adapter les signaux TDM au transport par paquets.

Ces fonctions sont notamment les suivantes:

- La conversion TDM vers paquets.
- La conversion paquets vers TDM.
- Des fonctions concernant les paquets (par exemple l'ajout d'un préfixe).
- Le transport dans la couche physique.

Certaines horloges sont essentielles à la synchronisation de la fonction IWF, par exemple:

- L'obtention et la production d'un rythme en TDM.
- L'obtention du rythme de la couche physique.
- L'obtention du rythme dans un réseau par paquets.

S'agissant de l'obtention du rythme dans un réseau par paquets, la Recommandation [UIT-T G.8261] contient la description de deux méthodes générales, la méthode différentielle et la méthode adaptative.

II.2 Application de la Recommandation UIT-T G.805 à la fonction IWF

La Recommandation [UIT-T G.805] contient un certain nombre de méthodes architecturales permettant de spécifier des réseaux de couche. L'un des éléments prépondérants présentés dans ce document est la notion de relation client-serveur au sein d'une architecture de réseau. Un réseau donné peut avoir plusieurs couches, chacune de celles-ci ayant des interactions dans une relation client-serveur. Les réseaux de couche sont par exemple des réseaux SDH, OTN et Ethernet. Dans le cas d'un réseau SDH, les trois couches sont la couche conduit, la couche des sections de multiplexage (MS) et la couche des sections de régénération (RS). La couche conduit est un client de la couche de

multiplexage, celle-ci étant elle-même un client de la couche de régénération. Dans le cas des réseaux Ethernet, la Recommandation [UIT-T G.8010] définit deux couches, la couche ETH et la couche ETY. La couche ETH est analogue à la couche 2 du modèle de référence de l'interconnexion des systèmes ouverts (OSI) (c'est-à-dire la couche liaison de données). Elle assure des fonctions de type paquet. La couche ETY est analogue à la couche physique OSI (c'est-à-dire la couche 1).

La Recommandation [UIT-T G.805] contient une représentation des blocs fonctionnels qui permettent de décrire les propriétés des différentes couches de réseau. Les deux blocs fonctionnels principaux sont les fonctions d'adaptation et les fonctions de terminaison de chemin. L'interaction entre les différentes couches est assurée par les fonctions d'adaptation. Les fonctions de terminaison de chemin ajoutent le préfixe nécessaire pour transporter le signal dans le réseau de couche serveur. On achemine les informations d'un réseau de couche client dans un réseau de couche serveur en adaptant le client au serveur au moyen de la fonction d'adaptation. Les informations transportées dans une couche donnée sont appelées "informations sur les caractéristiques" (CI). On trouvera de plus amples détails à cet égard dans la Recommandation [UIT-T G.805].

En ce qui concerne le service d'émulation de circuit IWF appliqué aux couches Ethernet ETH et ETY, on trouvera dans la Figure B.4 de la Recommandation [UIT-T G.826] une illustration des fonctions de la couche paquet et de la couche physique. Les couches ETH et ETY sont donc toutes deux mises en œuvre dans la fonction IWF. La conversion PDH vers paquet ne fait pas partie des couches Ethernet, mais elle peut être considérée comme une fonction d'adaptation au sens de la Recommandation [UIT-T G.805]. Dans le sens PDH vers paquet (entrée PDH dans la fonction IWF), la fonction IWF de base peut être considérée, d'un point de vue fonctionnel, de la manière illustrée dans la Figure II.1 a); dans le sens paquet vers TDM (sortie PDH), elle peut être considérée de la manière illustrée dans la Figure II.1 b).

NOTE – Certains composants d'horloge de la fonction IWF (par exemples des horloges ou des sélecteurs de référence d'horloge) ne sont pas explicitement représentés dans cette figure, tandis que d'autres composants peuvent faire partie de fonctions particulières. Ainsi, on peut considérer que l'obtention des informations d'une horloge PDH fait partie de la fonction d'adaptation de la couche PDH à la couche paquet, étant donné qu'elle se rapporte à l'adaptation des informations d'horloge de la couche client à la couche serveur sous-jacente (voir le § II.3 ci-après). En outre, les blocs fonctionnels illustrés dans la Figure II.1 sont décrits de manière à ne pas limiter leur mise en œuvre et peuvent être appliqués à diverses topologies d'équipements.

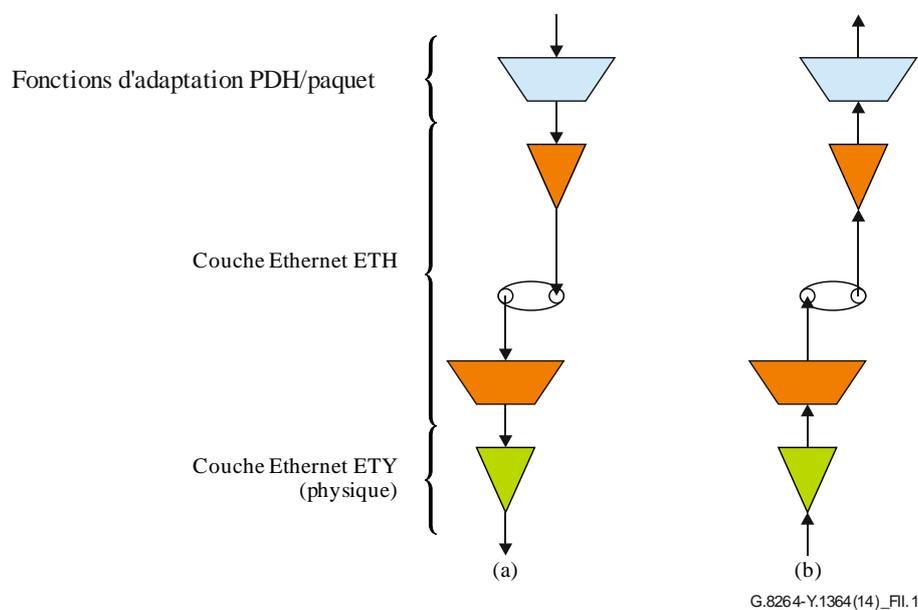


Figure II.1 – Blocs fonctionnels du service d'émulation de circuit IWF

II.3 Informations de rythme transportées dans des réseaux de couche

Selon la méthode de modélisation d'un réseau de couche, les informations provenant d'une couche client sont transportées dans un réseau de couche serveur. Les informations ainsi transportées sont appelées "informations sur les caractéristiques" (CI). Elles sont définies pour un réseau de couche particulier et varient d'un réseau de couche à l'autre. Ainsi, les CI d'un signal PDH comportent des données et des informations d'horloge.

En ce qui concerne les informations d'horloge, les réseaux de couche PDH et ETY obtiennent les informations de rythme dans les CI, mais tel n'est pas le cas des réseaux de couche ETH. Les CI d'un signal PDH entrant dans une fonction IWF se composent des données et des informations d'horloge (il s'agit de l'horloge de service). La fonction IWF a pour objet de transporter ces données et ces informations d'horloge.

Comme indiqué plus haut, les fonctions d'adaptation servent à adapter les informations d'un client pour que celles-ci puissent être acheminées dans un réseau de couche serveur. Les CI du réseau de couche client sont alors appelées "informations adaptées" (AI). Les réseaux de couche serveur peuvent tous transporter la partie des CI du client qui contient les données, mais ils ne sont pas tous capables intrinsèquement de transporter les informations de rythme. S'il est nécessaire de transporter ces informations de rythme, il faut mettre en place d'autres moyens.

En ce qui concerne les réseaux de couche serveur par paquets, la présente Recommandation contient une description de deux méthodes permettant de transporter les informations de rythme du signal PDH de la couche client dans un réseau de couche serveur par paquets. Le paragraphe 8 de la Recommandation [UIT-T G.8261] contient une description des méthodes différentielles et adaptatives permettant de mettre en œuvre ce transport.

II.4 Modèle fonctionnel de synchronisation de la couche physique Ethernet

La Figure B.4 de la Recommandation [UIT-T G.8261] montre que la fonction IWF peut être synchronisée via une "interface physique en mode paquet". Dans le modèle de l'architecture Ethernet, seules la fonction de terminaison de chemin ETY et la fonction d'adaptation ETH/ETY sont utilisées. Le modèle fonctionnel concernant la liaison point à point est représenté dans la Figure II.2. Le flux de rythme est également illustré dans cette figure. Le rythme fourni à la fonction d'adaptation ETH/ETY peut provenir d'une source externe ou d'un oscillateur autonome interne.

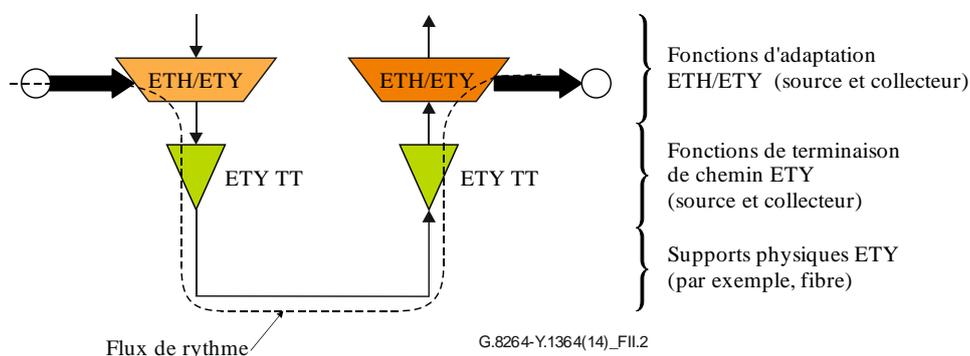


Figure II.2 – Modèle fonctionnel de synchronisation Ethernet (réseau PHY Ethernet synchrone)

La Figure II.3 offre un exemple de synchronisation d'une fonction d'adaptation d'un réseau PDH/ETH collecteur à partir d'informations de rythme provenant de la couche physique.

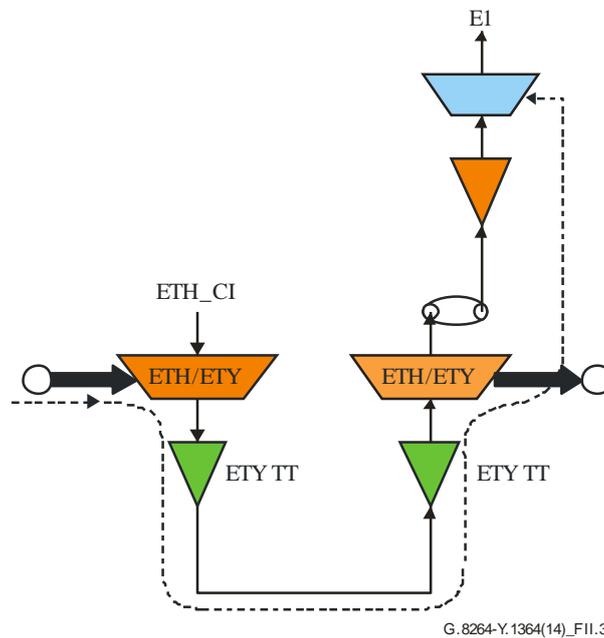


Figure II.3 – Exemple de synchronisation d'une fonction d'adaptation ETH/PDH à partir d'informations de rythme provenant de la couche physique

II.5 Modèle fonctionnel pour des méthodes différentielles et adaptatives

La présente Recommandation contient une description de la méthode différentielle et de la méthode adaptative de transfert du rythme, qui sont fondées sur des méthodes destinées aux réseaux par paquets. Dans les deux cas, les fonctions en question se trouvent dans les fonctions d'adaptation PDH/ETH (voir la Figure II.1). La principale différence entre ces deux techniques tient au fait que dans le cas de la méthode différentielle, une référence de rythme doit être fournie à la fois à la fonction PDH/ETH collecteur et à la fonction PDH/ETH source. Les méthodes adaptatives reposent généralement sur le débit moyen de réception des paquets au niveau de la fonction IWF collecteur, déterminé généralement par la mesure du temps écoulé entre l'arrivée de deux paquets successifs ou par le contrôle du niveau de remplissage du tampon (certains mécanismes permettant d'obtenir les informations de l'horloge adaptative peuvent aussi utiliser des horodates); une référence externe n'est donc pas nécessaire. Les modèles fonctionnels concernant les méthodes différentielles et les méthodes adaptatives sont respectivement représentés dans les Figures II.4 et II.5.

NOTE – Dans le présent Appendice, deux fonctions distinctes sont définies pour les méthodes différentielles et les méthodes adaptatives afin de ménager une certaine souplesse au niveau de la mise en œuvre.

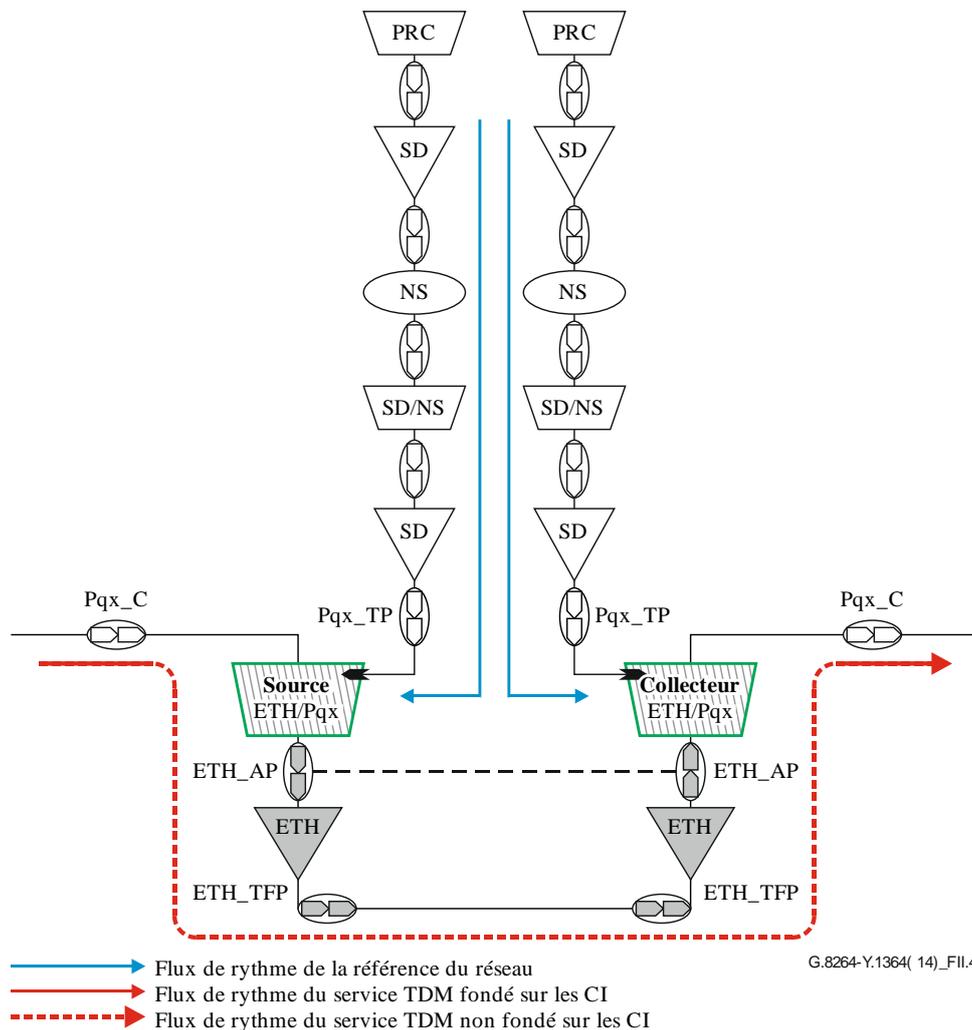


Figure II.4 – Modèles fonctionnels de la synchronisation différentielle

Dans le cas du mode différentiel, les fonctions IWF source et collecteur (fonctions d'adaptation ETH/Pqx) reposent toutes deux sur une horloge de référence calée sur une horloge PRC/ePRC (flux de synchronisation en bleu). Au niveau de la fonction IWF source, la différence entre le rythme du service (flux de synchronisation en trait continu rouge) et la référence externe est codée sous forme d'horodates. Ces informations sont transmises par le réseau Ethernet (flux de synchronisation en pointillés rouges). Au niveau de la fonction IWF collecteur, les horodates et la référence externe servent à recréer l'horloge de service (flux de synchronisation en trait continu rouge). La même référence (calée sur une horloge PRC/ePRC) est donc nécessaire aux deux extrémités.

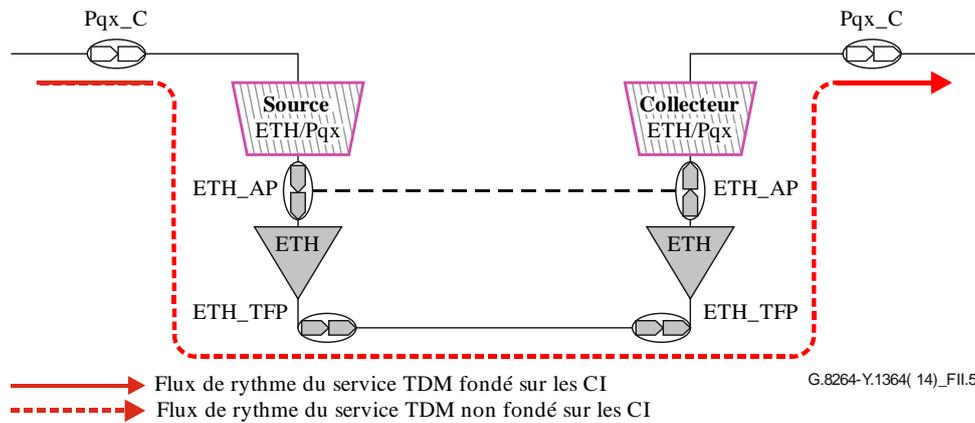


Figure II.5 – Modèles fonctionnels de la synchronisation adaptative

Dans le cas du mode adaptatif, la récupération d'horloge à l'extrémité de synchronisation repose sur le débit moyen de réception des paquets au niveau de la fonction IWF collecteur, déterminé généralement par la mesure du temps écoulé entre l'arrivée de deux paquets successifs ou par le contrôle du niveau de remplissage du tampon (certains mécanismes d'obtention des informations de l'horloge adaptative peuvent aussi utiliser des horodates). Dans ce mode de distribution du rythme, l'utilisation d'une référence externe n'est pas requise.

La description détaillée des fonctions concernant les méthodes adaptative et différentielle doit faire l'objet d'un complément d'étude.

Bibliographie

- [b-UIT-T G.810] Recommandation UIT-T G.810 (1996), *Définitions et terminologie des réseaux de synchronisation*.
<<https://www.itu.int/rec/T-REC-G.810-199608-I/fr>>
- [b-UIT-T G.8011] Recommandation UIT-T G.8011.1/Y.1307.1 (2016), *Caractéristiques des services Ethernet*.
<<https://www.itu.int/rec/T-REC-G.8011-201611-I/fr>>
- [b-IEEE 1588] IEEE 1588-2008, *IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems*.
<<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=4579757>>
- [b-IETF RFC 1305] IETF RFC 1305 (1992), *Network Time Protocol (Version 3) Specification, Implementation and Analysis*.
<<http://www.ietf.org/rfc/rfc1305.txt>>
- [b-IETF RFC 3550] IETF RFC 3550 (2003), *RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications*.
<<http://www.ietf.org/rfc/rfc3550.txt>>

RECOMMANDATIONS UIT-T DE LA SÉRIE Y

INFRASTRUCTURE MONDIALE DE L'INFORMATION, PROTOCOLE INTERNET, RESEAUX DE PROCHAINE GENERATION, INTERNET DES OBJETS ET VILLES INTELLIGENTES

INFRASTRUCTURE MONDIALE DE L'INFORMATION	
Généralités	Y.100–Y.199
Services, applications et intergiciels	Y.200–Y.299
Aspects réseau	Y.300–Y.399
Interfaces et protocoles	Y.400–Y.499
Numérotage, adressage et dénomination	Y.500–Y.599
Gestion, exploitation et maintenance	Y.600–Y.699
Sécurité	Y.700–Y.799
Performances	Y.800–Y.899
ASPECTS RELATIFS AU PROTOCOLE INTERNET	
Généralités	Y.1000–Y.1099
Services et applications	Y.1100–Y.1199
Architecture, accès, capacités de réseau et gestion des ressources	Y.1200–Y.1299
Transport	Y.1300–Y.1399
Interfonctionnement	Y.1400–Y.1499
Qualité de service et performances de réseau	Y.1500–Y.1599
Signalisation	Y.1600–Y.1699
Gestion, exploitation et maintenance	Y.1700–Y.1799
Taxation	Y.1800–Y.1899
Télévision IP sur réseaux de prochaine génération	Y.1900–Y.1999
RÉSEAUX DE PROCHAINE GÉNÉRATION	
Cadre général et modèles architecturaux fonctionnels	Y.2000–Y.2099
Qualité de service et performances	Y.2100–Y.2199
Aspects relatifs aux services: capacités et architecture des services	Y.2200–Y.2249
Aspects relatifs aux services: interopérabilité des services et réseaux dans les réseaux de prochaine génération	Y.2250–Y.2299
Améliorations concernant les réseaux de prochaine génération	Y.2300–Y.2399
Gestion de réseau	Y.2400–Y.2499
Architectures et protocoles de commande de réseau	Y.2500–Y.2599
Réseaux de transmission par paquets	Y.2600–Y.2699
Sécurité	Y.2700–Y.2799
Mobilité généralisée	Y.2800–Y.2899
Environnement ouvert de qualité opérateur	Y.2900–Y.2999
RÉSEAUX FUTURS	Y.3000–Y.3499
INFORMATIQUE EN NUAGE	Y.3500–Y.3999
INTERNET DES OBJETS ET VILLES ET COMMUNAUTÉS INTELLIGENTES	
Considérations générales	Y.4000–Y.4049
Termes et définitions	Y.4050–Y.4099
Exigences et cas d'utilisation	Y.4100–Y.4249
Infrastructure, connectivité et réseaux	Y.4250–Y.4399
Cadres, architectures et protocoles	Y.4400–Y.4549
Services, applications, calcul et traitement des données	Y.4550–Y.4699
Gestion, commande et qualité de fonctionnement	Y.4700–Y.4799
Identification et sécurité	Y.4800–Y.4899
Évaluation et analyse	Y.4900–Y.4999

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

SÉRIES DES RECOMMANDATIONS UIT-T

Série A	Organisation du travail de l'UIT-T
Série D	Principes de tarification et de comptabilité et questions de politique générale et d'économie relatives aux télécommunications internationales/TIC
Série E	Exploitation générale du réseau, service téléphonique, exploitation des services et facteurs humains
Série F	Services de télécommunication non téléphoniques
Série G	Systemes et supports de transmission, systemes et reseaux numériques
Série H	Systemes audiovisuels et multimédias
Série I	Reseau numérique à intégration de services
Série J	Reseaux câblés et transmission des signaux radiophoniques, télévisuels et autres signaux multimédias
Série K	Protection contre les perturbations
Série L	Environnement et TIC, changement climatique, déchets d'équipements électriques et électroniques, efficacité énergétique; construction, installation et protection des câbles et autres éléments des installations extérieures
Série M	Gestion des télécommunications y compris le RGT et maintenance des reseaux
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 reseaux locaux
Série Q	Commutation et signalisation et mesures et tests associés
Série R	Transmission télégraphique
Série S	Équipements terminaux de télégraphie
Série T	Terminaux des services télématiques
Série U	Commutation télégraphique
Série V	Communications de données sur le reseau téléphonique
Série X	Reseaux de données, communication entre systemes ouverts et sécurité
Série Y	Infrastructure mondiale de l'information, protocole Internet, reseaux de prochaine génération, Internet des objets et villes intelligentes
Série Z	Langages et aspects généraux logiciels des systemes de télécommunication