Union internationale des télécommunications

UIT-T G.8261/Y.1361

(08/2013)

SECTEUR DE LA NORMALISATION
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS
DE L'UIT

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 ET RÉSEAUX DE PROCHAINE GÉNÉRATION

Aspects relatifs au protocole Internet – Transport

Aspects de rythme et de synchronisation dans les réseaux par paquets

Recommandation UIT-T G.8261/Y.1361

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.8261/Y.1361

Aspects de rythme et de synchronisation dans les réseaux par paq

Résumé

La Recommandation UIT-T G.8261/Y.1361 définit les aspects de synchronisation en fréquence dans les réseaux par paquets. Elle spécifie les limites maximales de gigue et de dérapage à ne pas dépasser dans ces réseaux. Elle spécifie en outre la tolérance minimum des équipements vis-à-vis de la gigue et du dérapage, qui doit être observée à la limite de ces réseaux par paquets aux interfaces TDM et de synchronisation. Elle définit par ailleurs les exigences minimales pour la fonction de synchronisation des éléments de réseau.

Les caractéristiques requises de gigue et de dérapage spécifiées dans la présente Recommandation UIT-T doivent impérativement être observées afin de garantir l'interopérabilité des équipements provenant de différents fabricants ainsi qu'un fonctionnement de réseau satisfaisant.

Historique

Edition	Recommandation	Approbation	Commission d'études	ID unique*
1.0	ITU-T G.8261/Y.1361	2006-05-22	15	11.1002/1000/8787
1.1	ITU-T G.8261/Y.1361 (2006) Cor. 1	2006-12-14	15	11.1002/1000/9010
2.0	ITU-T G.8261/Y.1361	2008-04-29	15	11.1002/1000/9416
2.1	ITU-T G.8261/Y.1361 (2008) Amd. 1	2010-07-29	15	11.1002/1000/10908
3.0	ITU-T G.8261/Y.1361	2013-08-29	15	11.1002/1000/12015
3.1	ITU-T G.8261/Y.1361 (2013) Amd. 1	2015-01-13	15	11.1002/1000/12388

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

© UIT 2016

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	4
4	Abréviations et acronymes	5
5	Conventions	7
6	Généralités	7
	6.1 Exigences de synchronisation dans les réseaux par paquets	8
	6.2 Exigences de rythme TDM	8
	6.3 Conception du réseau de synchronisation dans les réseaux par paquets	9
	6.4 Exigences de rythme en périphérie/exigences de rythme dans les réseaux centraux	10
	6.5 Domaine PNT et domaine CES	10
7	Distribution du signal de rythme de référence sur les réseaux par paquets (domaine PNT)	10
	7.1 Méthodes plésiochrones et synchrones au niveau du réseau	10
	7.2 Méthodes fondées sur les paquets	12
8	Récupération du rythme pour les services à débit binaire constant acheminés sur des réseaux par paquets (domaine CES)	13
	8.1 Fonctionnement synchrone au niveau du réseau	13
	8.2 Méthodes différentielles	14
	8.3 Méthodes adaptatives	15
	8.4 Horloge de référence disponible au niveau des systèmes d'extrémité TDM	15
9	Limites dans le réseau	15
	9.1 Limites concernant le domaine CES	15
	9.2 Limites concernant le domaine PNT	20
10	Incidence des altérations dans les réseaux par paquets sur la distribution du rythme et sur la récupération de l'horloge de service	26
	10.1 Temps de transfert des paquets et variation du temps de transfert	28
	10.2 Incidences des altérations concernant les paquets	32
11	Incidence de l'altération de l'horloge de référence sur la récupération de l'horloge de service	33
	11.1 Altérations dans le cas des méthodes de fonctionnement synchrone au niveau du réseau	33
	11.2 Altérations dans le cas de la méthode différentielle	34
12	Résultats et conséquences des différentes méthodes de synchronisation dans les modèles de référence de réseau par paquets	35
	12.1 Recommandations dans le domaine CES	35

Page

12.2 Recommandations dans le domaine PNT 38

Annexe A – Architecture de réseau proposée pour l'Ethernet synchrone 41

A.1 Emplacement des horloges PRC 41

A.2 Limitation de la gigue et du dérapage pour l'Ethernet synchrone 41

A.3 Considérations relatives à la conception d'un réseau de synchronisation basé sur l'Ethernet synchrone 42

A.4 Exemple de distribution du rythme via l'Ethernet synchrone 43

A.5 Interfonctionnement d'interfaces Ethernet et Ethernet synchrone 43

Annexe B – Découpage de la fonction IWF en fonctions IWF CES et PNT et exemples dans le réseau 48

B.1 Généralités 48

B.2 Horloges dans les fonctions IWF 50

B.3 Exemples dans le réseau 52

Annexe C – Exigences liées à la synchronisation de la fonction IWF CES 55

C.1 Interfaces de trafic 55

C.2 Interfaces de synchronisation 55

C.3 Fonction de synchronisation de la fonction IWF 56

Annexe D – Applications réseau et exigences concernant les horloges spécifiées dans la Recommandation UIT-T G.8262/Y.1362 57

Appendice I – Caractéristiques des commutateurs Ethernet, des réseaux Ethernet, des routeurs et des systèmes d'accès 58

I.1 Caractéristiques des commutateurs et des réseaux Ethernet 58

I.2 Caractéristiques de temps de traitement des routeurs 62

I.3 Caractéristiques de temps de transfert des systèmes d'accès (noeuds hyperfréquences, PON, DSL) 63

Appendice II – Période de stabilisation 64

Appendice III – Considérations relatives aux méthodes fondées sur les paquets 65

Appendice IV – Applications et cas d'utilisation 66

IV.1 Considérations générales 66

IV.2 Système sans fil 66

IV.3 Infrastructure 68

IV.4 Passerelle média 68

Appendice V – Modèles de référence des réseaux par paquets 69

V.1 Modèles pour les réseaux Ethernet 69

V.2 Autres modèles de réseau 71

Appendice VI – Lignes directrices concernant les mesures pour les méthodes fondées sur les paquets 75

VI.1 Points de référence pour les mesures 75

VI.3 Topologies de test pour les méthodes adaptatives 78

VI.4 Topologies de test pour les méthodes différentielles 84

Page

VI.5 Test pour les protocoles bidirectionnels 86

Appendice VII – Limites de dérapage dans le cas 1 de déploiement 93

VII.1 Limites pour l'interface à 2 048 kbit/s 93

VII.2 Limites pour l'interface à 1 544 kbit/s 94

Appendice VIII – Messages d'état de synchronisation dans la couche physique Ethernet synchrone 95

Appendice IX – Exemples de fonction IWF 96

Appendice X – Considérations relatives aux mesures applicables à l'Ethernet synchrone conformément aux méthodes définies par l'UIT-T par comparaison avec les mesures de la gigue définies par l'IEEE 99

Appendice XI – Relation entre les exigences énoncées dans la présente Recommandation et dans d'autres Recommandations essentielles relatives à la synchronisation 100

Appendice XII – Principes de base de synchronisation pour les réseaux par paquets 103

XII.1 Considérations générales 103

XII.2 Limitation de la variation du temps de transfert des paquets par la sélection des paquets 106

XII.3 Comparaison des méthodes fondées sur les paquets et des méthodes de couche physique synchrone 107

XII.4 Normes existantes 107

Appendice XIII – Evaluation de la variation du temps de transfert des paquets produite dans un noeud de réseau 109

XIII.1 Introduction 109

XIII.2 Considérations générales 109

XIII.3 Configuration générale 109

Bibliographie 111

Recommandation UIT-T G.8261/Y.1361

Aspects de rythme et de synchronisation dans les réseaux par paquets

1 Domaine d'application

La présente Recommandation définit les aspects de synchronisation en fréquence dans les réseaux par paquets. Elle spécifie les limites maximales de gigue et de dérapage à ne pas dépasser dans ces réseaux. Elle spécifie en outre la tolérance minimum des équipements vis-à-vis de la gigue et du dérapage, qui doit être observée à la limite de ces réseaux par paquets aux interfaces TDM et de synchronisation. Elle définit par ailleurs les exigences minimales pour la fonction de synchronisation des éléments de réseau.

En particulier, deux points principaux sont abordés dans la présente Recommandation: la distribution d'un signal d'horloge de réseau de synchronisation sur un réseau par paquets (domaine PNT) et la distribution d'un signal d'horloge de service sur un réseau par paquets (domaine CES).

NOTE – L'application du transport des signaux SDH sur les réseaux par paquets n'est traitée que partiellement et certains aspects doivent faire l'objet d'un complément d'étude.

Les réseaux par paquets qui relèvent de la présente Recommandation sont limités actuellement aux scénarios suivants:

– Ethernet ([IEEE 802.3], [IEEE 802.1D™], [IEEE 802.1Q™] et [IEEE 802.1Qay™]).

– MPLS [IETF RFC 3031] et [UIT-T G.8110].

– IP [IETF RFC 791] et [IETF RFC 2460].

La couche physique considérée dans la présente Recommandation correspond aux types de supports Ethernet définis dans la norme [IEEE 802.3]. D'autres couches physiques pourront être considérées dans une future version de la présente Recommandation.

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.691] Recommandation UIT-T G.691 (2006), *Interfaces optiques pour les systèmes STM-64 et autres systèmes SDH monocanaux à amplificateurs optiques*.

[UIT-T G.702] Recommandation UIT-T G.702 (1988), *Débits binaires de la hiérarchie numérique*.

[UIT-T G.703] Recommandation UIT-T G.703 (2001), *Caractéristiques physiques et électriques des interfaces numériques hiérarchiques*.

[UIT-T G.705] Recommandation UIT-T G.705 (2000), *Caractéristiques des blocs fonctionnels des équipements de la hiérarchie numérique plésiochrone*.

[UIT-T G.781] Recommandation UIT-T G.781 (2008), *Fonctions des couches de synchronisation*.

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

[UIT-T G.811] Recommandation UIT-T G.811 (1997), *Caractéristiques de rythme des horloges de référence primaires*.

[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*.

[UIT-T G.813] Recommandation UIT-T G.813 (2003), *Caractéristiques de rythme des horloges asservies utilisées dans les équipements SDH*.

[UIT-T G.822] Recommandation UIT-T G.822 (1988), *Objectifs de limitation du taux de glissement commandé dans une communication numérique internationale*.

[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*.

[UIT-T G.824] Recommandation UIT-T G.824 (2000), *Régulation de la gigue et du dérapage dans les réseaux numériques fondés sur la hiérarchie à 1544 kbit/s*.

[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)*.

[UIT-T G.957] Recommandation UIT-T G.957 (2006), *Interfaces optiques pour les équipements et les systèmes relatifs à la hiérarchie numérique synchrone*.

[UIT-T G.959.1] Recommandation UIT-T G.959.1 (2008), *Interfaces de couche Physique de réseau optique de transport*.

[UIT-T G.8010] Recommandation UIT-T G.8010/Y.1306 (2004), *Architecture des réseaux de couche Ethernet*.

[UIT-T G.8110] Recommandation UIT-T G.8110/Y.1370 (2005), *Architecture du réseau de couche MPLS*.

[UIT-T G.8110.1] Recommandation UIT-T G.8110.1/Y.1370.1 (2006), *Architecture du réseau de couche MPLS de transport*.

[UIT-T G.8260] Recommandation UIT-T G.8260 (2010), *Termes et définitions relatifs à la synchronisation dans les réseaux en mode paquet*.

[UIT-T G.8261.1] Recommandation UIT-T G.8261.1/Y1361.1 (2012), *Limites de la variation du temps de transfert des paquets dans le réseau applicables aux méthodes fondées sur les paquets (synchronisation en fréquence)*.

[UIT-T G.8262] Recommandation UIT-T G.8262/Y.1362 (2010), *Caractéristiques de rythme des horloges asservies d'équipement Ethernet synchrone*.

[UIT-T G.8263] Recommandation UIT-T G.8263/Y.1363 (2012), *Caractéristiques de rythme des horloges d'équipement fondées sur les paquets*.

[UIT-T G.8264] Recommandation UIT-T G.8264/Y.1364 (2014), *Distribution du rythme dans les réseaux par paquets*.

[UIT-T G.8265] Recommandation UIT-T G.8265/Y.1365 (2010), *Architecture et spécifications pour la distribution de fréquence en mode paquet*.

[UIT-T G.8265.1] Recommandation UIT-T G.8265.1/Y.1365.1 (2010), *Profil du protocole de précision temporelle pour la synchronisation des fréquences dans les applications de télécommunication*.

[UIT-T G.8271] Recommandation UIT-T G.8271/Y1366 (2012), *Aspects de synchronisation du temps et de la phase des réseaux en mode paquet*.

[UIT-T O.171] Recommandation UIT-T O.171 (1997), *Appareil de mesure de la gigue et du dérapage de rythme dans les systèmes numériques à hiérarchie numérique plésiochrone*.

[UIT-T O.172] Recommandation UIT-T O.172 (2005), *Appareil de mesure de la gigue et du dérapage dans les systèmes numériques à hiérarchie numérique synchrone*.

[UIT-T Y.1411] Recommandation UIT-T Y.1411 (2003), *Interfonctionnement des réseaux ATM et MPLS - Interfonctionnement dans le plan utilisateur en mode cellule*.

[UIT-T Y.1540] Recommandation UIT-T Y.1540 (2002), *Service de communication de données par protocole Internet - Paramètres de performances en matière de transfert de paquets IP et de disponibilité*.

[UIT-T Y.1561] Recommandation UIT-T Y.1561, (2004), *Paramètres de performance et de disponibilité des réseaux MPLS*.

[UIT-T Y.1731] Recommandation UIT-T Y.1731 (2006), *Fonctions et mécanismes d'exploitation et de maintenance pour les réseaux fondés sur Ethernet*.

[IEEE 802] IEEE 802-2001, *IEEE standard for local and metropolitan area networks: Overview and architecture*. <http://standards.ieee.org/getieee802/802.html>

[IEEE 802.1D] IEEE 802.1D-2004, *IEEE Standard for local and metropolitan area networks: Media Access Control (MAC) Bridges*. <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.1D-2004.pdf>

[IEEE 802.1Q] IEEE 802.1Q-2011, *IEEE Standard for local and metropolitan area networks: Virtual bridged local area networks*. <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.1Q-2011.pdf>

[IEEE 802.3] IEEE 802.3-2008, *Part 3: Carrier sense multiple access with collision detection (CSMA/CD) access method and physical layer specifications*. <http://standards.ieee.org/getieee802/802.3.html>

[IETF RFC 791] IETF RFC 791 (1981), *Internet Protocol (IP)*. <http://www.ietf.org/rfc/rfc0791.txt?number=791>

[IETF RFC 2460] IETF RFC 2460 (1998), *Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification*. <http://www.ietf.org/rfc/rfc2460.txt?number=2460>

[IETF RFC 3031] IETF RFC 3031 (2001), *Multiprotocol Label Switching Architecture*. <http://www.ietf.org/rfc/rfc3031.txt?number=3031>

3 Définitions

3.1 Termes définis ailleurs

La présente Recommandation utilise les termes suivants définis ailleurs:

3.1.1 récupération d'horloge adaptative: voir [UIT-T G.8260].

3.1.2 interface asynchrone: voir [UIT-T G.823].

3.1.3 fonction d'interfonctionnement (IWF, *interworking function*): voir [UIT-T Y.1411]. On trouvera davantage de détails et des exemples dans l'Annexe B et dans l'Appendice IX.

3.1.4 méthode fondée sur les paquets: voir [UIT-T G.8260].

3.1.5 méthode fondée sur les paquets avec prise en charge du rythme dans le réseau: voir [UIT-T G.8260].

3.1.6 méthode fondée sur les paquets sans prise en charge du rythme dans le réseau: voir [UIT-T G.8260].

3.1.7 fonction de rythme de réseau par paquets (PNT-F, *packet network timing function*): voir [UIT-T G.8260].

3.1.8 interface synchrone: voir [UIT-T G.823].

3.1.9 interface de trafic: voir [UIT-T G.823].

3.2 Termes définis dans la présente Recommandation

La présente Recommandation définit les termes suivants:

3.2.1 fonction d'interfonctionnement (IWF, *interworking function*) pour les services d'émulation de circuit (CES, *circuit emulation services*): ensemble de fonctions appartenant à la fonction IWF qui prennent en charge le domaine d'horloge de service (voir la Figure B.3), en particulier la fonction de récupération du rythme d'horloge de service.

3.2.2 îlot de services d'émulation de circuit (CES, *circuit emulation services*): segment d'un réseau, fondé sur les technologies de commutation par paquets, qui émule les caractéristiques d'un réseau à commutation de circuit ou d'un réseau de transport PDH/SDH, afin d'acheminer les services CBR (par exemple, E1).

3.2.3 rattachabilité à une source de fréquence: relation dans laquelle la fréquence de toutes les horloges d'un système dépend d'une même horloge physique. Dans les conditions de fonctionnement normales, toutes les horloges auront la même fréquence moyenne dans un système avec rattachabilité à une source. Par conséquent, dans un tel système, l'erreur de phase ou l'erreur maximale d'intervalle de temps (MTIE) entre toutes les horloges est limitée.

NOTE – Un cas différent est celui où les horloges sont rattachables en fréquence à des horloges pilotes précises (pas nécessairement les mêmes équipements). Ce cas renvoie au concept "plésiochrone" défini dans la Recommandation [b-UIT-T G.810]. On peut citer par exemple le cas où les horloges sont rattachables à des horloges PRC ([UIT-T G.811]) dans un réseau de synchronisation basé sur une architecture d'horloges PRC réparties.

3.2.4 horloge de réseau: horloge générant le signal d'horloge de réseau.

3.2.5 domaine d'horloge de réseau: ensemble de fonctions permettant de prendre en charge le réseau de synchronisation (horloge de réseau).

3.2.6 signal d'horloge de réseau: signal de rythme de référence qui sert de référence pour permettre le mappage et le démappage d'une horloge de service respectivement aux points d'entrée et de sortie du réseau. Dans certaines applications, le signal pourrait être asynchrone et généré par des horloges non asservies ne nécessitant pas une grande précision de fréquence (par exemple, dans le réseau Ethernet, la couche physique peut fonctionner avec une précision allant jusqu'à ±100 millionièmes). Dans d'autres applications, un signal de rythme de référence précis est nécessaire. Dans ce cas, le signal est généralement rattachable à une horloge PRC dans les conditions normales, et la distribution de ce signal à travers le réseau est assurée par un réseau de synchronisation.

NOTE – Dans la présente Recommandation, on part du principe qu'un signal d'une grande précision est toujours nécessaire. De ce fait, on peut considérer que la définition du signal d'horloge de réseau coïncide avec la définition du signal d'horloge de réseau de synchronisation, et les deux termes sont employés de façon interchangeable dans toute la présente Recommandation.

3.2.7 fonctionnement synchrone au niveau du réseau: synchronisation de la couche physique (généralement par une distribution d'un signal de rythme rattachable à une horloge primaire de référence (PRC), voir [UIT-T G.811]).

3.2.8 horloge de service: horloge générant le signal d'horloge de service.

3.2.9 domaine d'horloge de service: ensemble de fonctions permettant de prendre en charge la fonction de rythme pour les services CES (horloge de service).

3.2.10 signal d'horloge de service: informations de rythme associées à un service donné pris en charge par un réseau. Par exemple, dans le cas du service TDM E1, le rythme doit être de 2 048 kbit/s ±50 millionièmes.

3.2.11 horloge de réseau de synchronisation: équipement qui fournit le signal de rythme dans le réseau de synchronisation.

3.2.12 signal d'horloge de réseau de synchronisation: signal de rythme de référence distribué par le réseau de synchronisation. Ce signal est rattachable à une horloge pilote précise (par exemple une horloge PRC).

3.2.13 multiplex par répartition dans le temps, multiplex temporel (TDM, *time division multiplex*): terme qui désigne normalement les flux binaires isochrones utilisés dans les réseaux de téléphonie, en particulier ceux qui appartiennent à la hiérarchie numérique plésiochrone (PDH) décrite dans la Recommandation [UIT-T G.705]. Les débits binaires traditionnellement utilisés dans différentes régions du monde sont précisés dans la Recommandation [UIT-T G.702]. Les signaux appartenant aux hiérarchies PDH et SDH sont des exemples de signaux relevant de la définition du multiplex temporel.

3.2.14 période de stabilisation: période qui commence au moment où une source de rythme validée a été choisie par la fonction d'interfonctionnement et qui se termine au moment où les caractéristiques de rythme de sortie sont conformes aux exigences de gigue et de dérapage de sortie.

3.2.15 bilan de dérapage (d'un îlot de réseau): dérapage généré à la sortie d'un îlot de réseau lorsqu'un signal de rythme de référence idéal est injecté à l'entrée du premier élément de réseau de cet îlot de réseau.

4 Abréviations et acronymes

La présente Recommandation utilise les abréviations et acronymes suivants:

3GPP	projet de partenariat pour la troisième génération (*third generation partnership project*)
ATM	mode de transfert asynchrone (*asynchronous transfer mode*)
BS	station de base (*base station*)
CBR	débit binaire constant (*constant bit rate*)
CDMA	accès multiple par répartition en code (*code division multiple access*)
CE	équipement client (*customer equipment*)
CES	service d'émulation de circuit (*circuit emulation service*)
DUT	dispositif testé (*device under test*)
EEC	horloge d'équipement Ethernet synchrone (*synchronous Ethernet equipment clock*)
ESMC	canal de messages de synchronisation Ethernet (*Ethernet synchronization messaging channel*)
FDD	duplex par répartition en fréquence (*frequency division duplex*)
FE	Ethernet rapide (*fast Ethernet*)
GE	Ethernet gigabit (*gigabit Ethernet*)
GPS	système mondial de localisation (*global positioning system*)

GSM	système mondial de communications mobiles (*global system for mobile communications*)
IP	protocole Internet (*Internet protocol*)
IP DSLAM	multiplexeur d'accès de ligne d'abonné numérique IP (*IP digital subscriber line access multiplexer*)
IWF	fonction d'interfonctionnement (*interworking function*)
MAC	commande d'accès au support (*medium access control*)
M-CMTS	système modulaire de terminaison de câblo-modem (*modular cable modem termination system*)
MPEG	groupe d'experts pour les images animées (*moving picture experts group*)
MRTIE	erreur relative maximale d'intervalle de temps (*maximum relative time interval error*)
MSAN	noeud d'accès multiservice (*multiservice access node*)
MTIE	erreur maximale d'intervalle de temps (*maximum time interval error*)
NTP	protocole de temps réseau (*network time protocol*)
OLT	terminaison de ligne optique (*optical line termination*)
OTN	réseau de transport optique (*optical transport network*)
PDH	hiérarchie numérique plésiochrone (*plesiochronous digital hierarchy*)
PDV	variation du temps de transfert des paquets (*packet delay variation*)
PEC	horloge d'équipement en mode paquet (*packet-based equipment clock*)
PHY	couche physique (*PHYsical (layer)*)
PNT	rythme de réseau par paquets (*packet network timing*)
PNT-F	fonction PNT (*PNT-function*)
PRC	horloge primaire de référence (*primary reference clock*)
PSC-A	horloge de service en mode paquet pour les méthodes adaptatives (*packet-based service clock-adaptive*)
PSC-D	horloge de service en mode paquet pour les méthodes différentielles (*packet-based service clock-differential*)
PTP	protocole de précision temporelle (*precision time protocol*)
QL	niveau de qualité (*quality level*)
RTPC	réseau téléphonique public commuté
SASE	équipement autonome de synchronisation (*stand alone synchronization equipment*)
SDH	hiérarchie numérique synchrone (*synchronous digital hierarchy*)
SEC	horloge d'équipement SDH (*SDH equipment clock*)
SLA	accord sur le niveau de service (*service level agreement*)
SNTP	protocole simple de temps réseau (*simple network time protocol*)
SRTS	horodate résiduelle synchrone (*synchronous residual time stamp*)
SSM	message d'état de synchronisation (*synchronization status message*)
SSU	unité de synchronisation (*synchronization supply unit*)

STM	mode de transfert synchrone (*synchronous transfer mode*)
TCP	protocole de commande de transmission (*transmission control protocol*)
TDD	duplex par répartition dans le temps (*time division duplex*)
TDEV	écart temporel (*time DEViation*)
TDM	multiplex par répartition dans le temps, multiplex temporel (*time division multiplex*)
TDM PW	pseudo-circuit TDM (*TDM PseudoWire*)
ToD	heure du jour (*time of day*)
UI	intervale unitaire (*unit interval*)
UTC	temps universel coordonné (*coordinated universal time*)
WCDMA	accès multiple par répartition en code à bande étendue (*wideband code division multiple access*)

5 Conventions

Les termes "paquets" et "trames" sont employés de façon interchangeable dans toute la présente Recommandation.

Dans la présente Recommandation, le terme "Ethernet" se rapporte à une interface telle que définie dans la norme [IEEE 802.3] et qui n'observe pas les exigences de rythme supplémentaires de l'Ethernet synchrone spécifiées dans la présente Recommandation, dans la Recommandation [UIT-T G.8262] et dans la Recommandation [UIT-T G.8264].

6 Généralités

Au départ, la commutation par paquets a été introduite pour l'acheminement des données asynchrones.

Toutefois, pour de nouvelles applications, telles que le transport d'un service à multiplexage temporel (TDM) et la distribution de synchronisation dans les réseaux par paquets, les exigences strictes de synchronisation de ces applications doivent être prises en considération.

L'évolution permanente observée dans le domaine des télécommunications accentue la probabilité d'environnements hybrides paquet/circuit dans le cas des services de téléphonie et des services de données dans la bande vocale. Ces environnements associent les technologies par paquets (par exemple, mode de transfert asynchrone (ATM), IP, Ethernet) et les systèmes TDM traditionnels. Dans ces conditions, il est essentiel de maintenir un niveau de qualité acceptable (par exemple, un taux de glissement limité).

La synchronisation dans les réseaux TDM est bien connue et assurée. Normalement, un fournisseur de services en mode circuit TDM entretient un réseau de distribution de rythme, assurant une synchronisation rattachable à une horloge primaire de référence (horloge conforme à la Recommandation [UIT-T G.811]).

Les aspects de rythme et de synchronisation pris en compte dans la présente Recommandation se rapportent dans un premier temps aux réseaux dont la couche physique est basée sur les types de supports Ethernet définis dans la norme [IEEE 802.3] (voir le Domaine d'application au paragraphe 1).

L'architecture fonctionnelle des réseaux Ethernet est définie dans la Recommandation [UIT-T G.8010].

Dans le contexte de la présente Recommandation, les couches supérieures (par exemple, la couche 7 du modèle d'interconnexion des systèmes ouverts (OSI)) se rapportent aux applications acheminées dans les réseaux par paquets. Les applications en temps réel comportent des exigences de rythme

relativement strictes quant au temps de transmission et à ses variations. Certaines applications peuvent résoudre leurs problèmes de rythme dans les couches supérieures (par exemple, MPEG2) tandis que d'autres s'appuient sur le rythme fourni par une ou plusieurs couches inférieures (par exemple la couche physique).

La présente Recommandation s'emploie à décrire différentes méthodes d'observation des exigences en matière de synchronisation. Elle prend en considération à la fois le domaine des services d'émulation de circuit (CES) et le domaine du rythme de réseau par paquets (PNT), et décrit des exigences différentes.

De plus, on y trouve une description des exigences relatives aux interfaces et aux équipements qui font partie du réseau Ethernet et du réseau Ethernet synchrone ainsi que des recommandations sur la question de savoir quand les différents types de méthodes de synchronisation doivent être appliqués.

Les paragraphes qui suivent récapitulent certaines considérations relatives aux exigences de synchronisation applicables dans un réseau par paquets.

La présente Recommandation traite essentiellement des services CES dans le cadre des réseaux publics. Dans le cas de certaines applications pour réseaux privés impliquant une émulation de circuits, il peut être suffisant de distribuer une horloge commune de qualité non PRC (horloge primaire de référence) aux noeuds IWF (fonction d'interfonctionnement) CES. Néanmoins, l'utilisation d'un rythme de synchronisation de qualité inférieure au niveau PRC risque de poser des problèmes d'interfonctionnement entre différents domaines de réseau, par exemple en cas d'interconnexion impliquant plusieurs fournisseurs de réseaux publics.

L'utilisation d'une horloge commune de qualité non PRC doit faire l'objet d'un complément d'étude.

6.1 Exigences de synchronisation dans les réseaux par paquets

Les noeuds associés à une technologie de transmission par paquets (par exemple, noeuds de réseau ATM) n'exigent aucune synchronisation pour mettre en oeuvre la fonction de commutation par paquets. De fait, à tout point d'entrée d'un commutateur par paquets, un dispositif individuel doit assurer une adaptation du rythme des paquets (par exemple, adaptation du rythme des cellules dans le cas d'un commutateur ATM) du signal entrant au rythme interne. Par exemple, dans le cas des réseaux ATM, pour faire face aux différences de fréquence, on a recours à un bourrage par des cellules vides. Il est donc inutile, en principe, de synchroniser entre elles les liaisons de transmission.

Toutefois, puisque les réseaux par paquets évoluent de façon à intégrer les applications TDM, c'est-à-dire pour transporter un flux à débit binaire constant (CBR) sur un réseau par paquets et pour assurer l'interfonctionnement avec les réseaux téléphoniques publics commutés (RTPC), ils doivent fournir un rythme correct aux interfaces de trafic.

Autrement dit, les exigences concernant les fonctions de synchronisation dans les réseaux par paquets, en particulier à leur limite, dépendent des services acheminés par le réseau. En ce qui concerne les services TDM, la fonction IWF peut exiger un fonctionnement synchrone au niveau du réseau afin d'offrir un niveau de performance acceptable.

6.2 Exigences de rythme TDM

Le transport de signaux TDM sur des réseaux par paquets nécessite que les signaux à la sortie du réseau par paquets soient conformes aux exigences de rythme TDM. Cette conformité est indispensable pour pouvoir assurer l'interfonctionnement avec les équipements TDM.

Ces exigences sont indépendantes du type d'informations (téléphonie ou données) acheminées par le signal TDM.

On appelle services d'émulation de circuit (CES) l'adaptation des signaux TDM au réseau par paquets.

Les exigences de rythme applicables sont les suivantes: limites de gigue et de dérapage aux interfaces de trafic et/ou de synchronisation, précision de fréquence à long terme (susceptible d'influer sur le taux de glissement) et temps de transfert total (essentiel pour les services en temps réel, par exemple le service téléphonique).

6.2.1 Exigences de rythme PDH

Les exigences de rythme pour la hiérarchie numérique plésiochrone (PDH) aux interfaces de trafic portent essentiellement sur la gigue, le dérapage et le taux de glissement.

A l'entrée d'un élément de réseau situé à la limite d'un réseau par paquets, des exigences concernant la tolérance de gigue et de dérapage s'appliquent. A la sortie d'un élément de réseau situé à la sortie du réseau par paquets, des exigences en matière de production de gigue et de dérapage sont applicables.

Ces valeurs sont spécifiées dans la Recommandation [UIT-T G.823] dans le cas d'un réseau fondé sur la hiérarchie à 2 048 kbit/s et dans la Recommandation [UIT-T G.824] dans le cas d'un réseau fondé sur la hiérarchie à 1 544 kbit/s.

De plus, la Recommandation [UIT-T G.822] spécifie les objectifs de taux de glissement applicables, par exemple lorsque l'horloge de l'équipement qui produit le signal TDM et celle utilisée dans l'équipement qui récupère le signal TDM à partir des paquets sont différentes et que le tampon de glissement est nécessaire dans l'application.

6.2.2 Exigences concernant les interfaces de synchronisation

Dans le cas où les signaux PDH sont définis en tant qu'interfaces de synchronisation, les exigences de synchronisation sont plus strictes que celles applicables aux interfaces de trafic à 2 048 kbit/s et à 1 544 kbit/s. Les exigences d'interface de synchronisation pour les interfaces PDH sont également définies dans les Recommandations [UIT-T G.823] et [UIT-T G.824].

6.2.3 Exigences de rythme SDH

Tout signal STM-N (mode de transfert synchrone, niveau N) doit être conforme à la Recommandation [UIT-T G.825]. Les exigences en question concernent la tolérance de gigue et de dérapage applicable à l'entrée de l'élément de réseau situé à la limite d'un réseau par paquets et qui reçoit les données STM-N, ainsi que le niveau de production de gigue et de dérapage applicable à la sortie de l'élément de réseau d'où provient le trafic STM-N à l'autre extrémité du réseau par paquets.

Dans le cas des signaux STM-N, on ne distingue pas les interfaces de trafic et de synchronisation, étant donné que tous les signaux STM-N sont définis en tant qu'interfaces de synchronisation.

6.3 Conception du réseau de synchronisation dans les réseaux par paquets

Cette tâche vise essentiellement à répondre aux besoins de synchronisation d'une application ou, d'une manière générale, aux besoins propres à certaines technologies (par exemple, stations de base des réseaux GSM (système mondial de communications mobiles) et WCDMA (accès multiple par répartition en code à bande élargie)). Pour atteindre cet objectif, les opérateurs doivent distribuer un signal de rythme de référence de qualité appropriée aux éléments de réseau qui traitent l'application.

Une solution consiste à adopter une stratégie d'horloges PRC réparties (par exemple, en faisant appel aux technologies GPS (système mondial de localisation)). Une autre solution repose sur une stratégie de commande-asservissement. Les principes de conception du réseau de synchronisation en pareille circonstance sont bien connus et documentés (voir par exemple la Recommandation [UIT-T G.803]), lorsque le transport sous-jacent des paquets (par exemple, les trames Ethernet) utilise les techniques synchrones existantes (réseaux PDH ou SDH (hiérarchie numérique synchrone)). En revanche, lorsque le transport sous-jacent repose sur des techniques non synchrones (par exemple, Ethernet), il faut envisager d'autres solutions. Celles-ci font l'objet d'une analyse approfondie au paragraphe 7.

6.4 Exigences de rythme en périphérie/exigences de rythme dans les réseaux centraux

Des performances différentes peuvent être exigées suivant si le réseau par paquets fait partie d'un réseau d'accès ou s'il constitue la couche sous-jacente du réseau central.

La distribution d'une référence de synchronisation dans une partie d'un réseau central peut s'avérer nécessaire afin d'observer des exigences strictes de gigue et de dérapage (voir les Recommandations [UIT-T G.823], [UIT-T G.824] pour les interfaces de synchronisation et [UIT-T G.825]).

En revanche, dans un réseau d'accès, il est possible d'assouplir les exigences afin de pouvoir distribuer un signal de référence de rythme dont la qualité est suffisante (par exemple, inférieure au niveau de qualité PRC) pour prendre en charge les exigences de rythme du noeud d'extrémité (par exemple, une station de base ou un modem UIT-T V90). On trouvera de plus amples informations dans l'Appendice IV.

6.5 Domaine PNT et domaine CES

La présente Recommandation traite de deux principales questions différentes:

1) Comment acheminer un signal d'horloge de réseau de synchronisation sur un réseau par paquets:
   - Cette question est liée au domaine PNT, et concerne l'horloge de réseau (voir les définitions).
   - Un point sur cette question est fait au paragraphe 7.
2) Comment acheminer un signal d'horloge de service:
   - Cette question est liée au domaine CES, et concerne l'horloge de service (voir les définitions).
   - Un point sur cette question est fait au paragraphe 8.

D'autres informations concernant les domaines PNT et CES sont données dans l'Annexe B.

7 Distribution du signal de rythme de référence sur les réseaux par paquets (domaine PNT)

Pour répondre aux exigences de synchronisation applicables, il convient de pouvoir distribuer un signal de rythme de référence ayant les caractéristiques appropriées de stabilité en phase et de précision en fréquence.

La présente Recommandation distingue deux grandes catégories de méthodes:

1) méthodes plésiochrones et synchrones au niveau du réseau (le signal de rythme de référence est distribué sur la couche physique synchrone);
2) méthodes fondées sur les paquets.

7.1 Méthodes plésiochrones et synchrones au niveau du réseau

La première catégorie de méthodes concerne une méthode de type horloges PRC réparties (par exemple fondée sur le GPS) ou une méthode de type commande-asservissement utilisant une couche physique synchrone (par exemple STM-N), telles qu'indiquées à la Figure 1. Ces méthodes sont couramment appliquées afin de synchroniser les réseaux TDM.

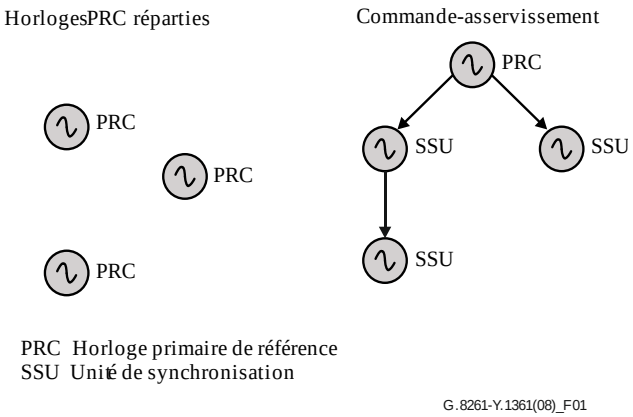


Figure 1 – Méthodes de type horloges PRC réparties et de type commande-asservissement

Les réseaux Ethernet fonctionnent sans asservissement (±100 millionièmes). Toutefois, dans le cas de l'Ethernet synchrone, il est possible de concevoir une architecture de synchronisation de type commande-asservissement au niveau de la couche physique. Dans ce cas, la couche physique peut être utilisée pour la distribution du signal de rythme de référence sur les réseaux par paquets, depuis le niveau dorsal jusqu'au niveau d'accès. Cette méthode peut également être utilisée pour la récupération du rythme au niveau des fonctions IWF pour les services CBR acheminés sur les réseaux par paquets (fonctionnement synchrone au niveau du réseau). Elle pourrait aussi être utilisée pour la fourniture d'un signal de rythme de référence en aval jusqu'à un équipement d'accès situé en périphérie, dans un réseau Ethernet pur prenant en charge l'Ethernet synchrone.

Le paragraphe 7.1.1 présente de façon détaillée une méthode de haut niveau permettant de réaliser un réseau Ethernet synchrone.

7.1.1 Réseaux Ethernet synchrone

La Figure 2 représente le schéma de principe général d'acheminement d'un signal d'horloge de couche physique depuis un commutateur Ethernet sur l'Ethernet synchrone.

Un signal de rythme de référence rattachable à une horloge PRC est injecté dans le commutateur Ethernet par un port d'horloge externe. Ce signal est extrait et traité par une fonction de synchronisation avant que le rythme soit injecté dans le flux binaire Ethernet. La fonction de synchronisation assure le filtrage et peut exiger une fonction de maintien. L'horloge prenant en charge les réseaux Ethernet synchrone est appelée horloge d'équipement Ethernet synchrone (EEC) (voir la Recommandation [UIT-T G.8262]).

Comme indiqué dans la figure, la distribution du signal de rythme de référence peut faire intervenir un certain nombre de commutateurs Ethernet. Dans ce cas, la fonction de synchronisation présente dans ces commutateurs Ethernet doit pouvoir récupérer le "rythme en ligne" à partir du flux binaire entrant.

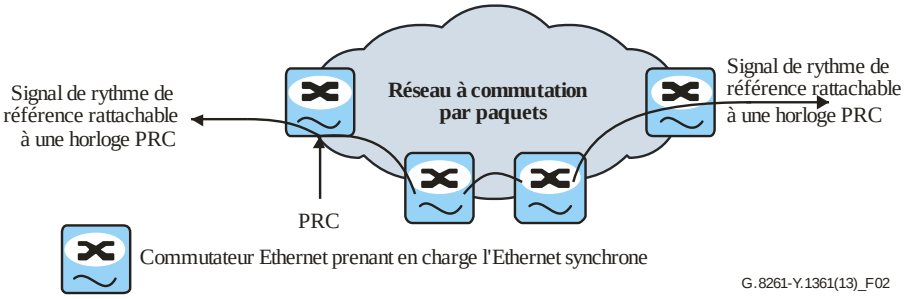


Figure 2 – Exemple de réseau de synchronisation de type commande-asservissement sur l'Ethernet synchrone

Dans le cadre de l'architecture, il faut distinguer l'horloge de réseau et l'horloge de service, comme décrit ci-après.

Le terme Ethernet synchrone s'applique à l'horloge de réseau qui commande le débit binaire sortant du commutateur Ethernet. Cette horloge doit être conforme à la Recommandation [UIT-T G.8262].

Dans la technologie Ethernet existante, le service est effectivement asynchrone. Dans l'Ethernet synchrone, les services Ethernet existants continueront d'être mappés vers et depuis la couche physique Ethernet aux débits appropriés générés par les horloges de service.

L'Annexe A décrit une architecture proposée pour les réseaux de synchronisation basés sur l'Ethernet synchrone.

NOTE – Les équipements Ethernet synchrone doivent être conformes à la Recommandation [UIT-T G.781], qui spécifie la couche de synchronisation, et à la Recommandation [UIT-T G.8264], qui spécifie le message d'état de synchronisation (SSM) pour l'Ethernet synchrone.

7.2 Méthodes fondées sur les paquets

La deuxième catégorie de méthodes repose sur l'acheminement d'informations de rythme par des paquets. Dans ce cas, le rythme pourrait être acheminé par des messages d'horodate dédiés comme indiqué dans la Figure 3. Dans le cas où la couche physique n'est pas synchrone, il s'agit de la seule alternative à une solution de type horloges PRC réparties. Les principes sur lesquels ces méthodes reposent sont décrits dans l'Appendice XII.

L'horodate peut être basée sur plusieurs protocoles, par exemple le protocole de temps réseau (NTP) et le protocole de précision temporelle (PTP) (voir le paragraphe XII.4).

Le protocole PTP utilise des horodates pour synchroniser les horloges du réseau dans une hiérarchie de type commande-asservissement. Il peut être utilisé pour distribuer des informations relatives à la fréquence et/ou à l'heure du jour (ToD). Au départ, le protocole PTP a été introduit pour le secteur de l'automatisation industrielle et celui des tests et des mesures; toutefois, une nouvelle version (voir le paragraphe XII.4) intègre plusieurs mises à jour qui permettent de l'utiliser dans le secteur des télécommunications.

Le protocole NTP et le protocole SNTP (protocole simple de temps réseau) sont les protocoles traditionnellement utilisés pour distribuer des informations relatives à l'heure du jour. Les mêmes paquets peuvent aussi être utilisés pour distribuer des informations relatives à la fréquence.

Les méthodes fondées sur les paquets sont adaptatives par nature, étant donné qu'elles ne nécessitent pas la prise en charge d'une référence de synchronisation à l'échelle du réseau. Par conséquent, la variation du temps de transfert des paquets dans le réseau a une incidence sur la qualité de fonctionnement (voir le paragraphe 10). Afin de réduire autant que possible l'incidence du réseau par paquets lorsqu'on utilise des paquets PTP ou NTP, il pourra être nécessaire de mettre en oeuvre des algorithmes spécifiques côté client, en fonction de la précision requise (voir les Appendices III et IV).

Des exigences supplémentaires concernant les noeuds intermédiaires du réseau pourront être envisagées pour améliorer la performance de ces méthodes. Il convient de noter que ce ne sera peut-être pas toujours possible, en particulier lorsqu'on utilise les équipements existants.

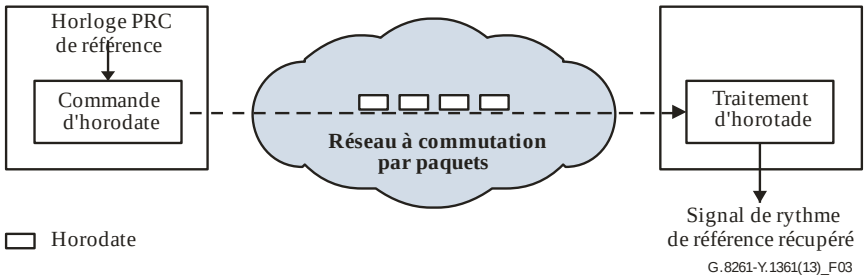


Figure 3 – Exemple de méthode fondée sur les paquets avec distribution d'un signal de rythme de référence au moyen d'horodates

NOTE – Pour plus de détails concernant les méthodes fondées sur les paquets et les exigences associées, on se reportera aux Recommandations [UIT-T G.8261.1], [UIT-T G.8263], [UIT-T G.8265] et [UIT-T G.8265.1]. Des informations supplémentaires et les Recommandations relatives aux méthodes fondées sur les paquets sont présentées au paragraphe 12.2.2.

L'horloge prenant en charge les méthodes fondées sur les paquets est appelée horloge d'équipement en mode paquet (PEC) (voir l'Annexe B).

8 Récupération du rythme pour les services à débit binaire constant acheminés sur des réseaux par paquets (domaine CES)

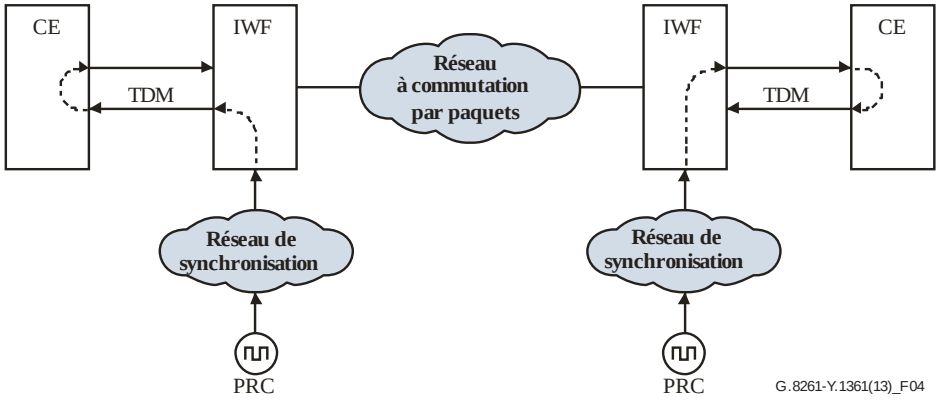
Les services CBR (par exemple signal TDM d'un service d'émulation de circuit) exigent que le rythme du signal soit analogue aux deux extrémités du réseau par paquets (domaine CES) et qu'il soit traité par la fonction IWF chargée de l'acheminement du flux à débit binaire constant. La notion de préservation de l'horloge de service signifie que la fréquence d'horloge de service entrante est reproduite pour servir de fréquence d'horloge de service sortante, en termes de moyenne à long terme. Cela ne veut pas dire que le dérapage du signal TDM entrant soit reproduit sur le signal TDM sortant.

Les paragraphes qui suivent décrivent les quatre méthodes de fonctionnement recensées dans la présente Recommandation:

1) fonctionnement synchrone au niveau du réseau;
2) méthodes différentielles;
3) méthodes adaptatives;
4) horloge de référence disponible au niveau des systèmes d'extrémité TDM.

8.1 Fonctionnement synchrone au niveau du réseau

Cette méthode se rapporte au fonctionnement parfaitement synchrone au niveau du réseau grâce à l'utilisation comme horloge de service (voir la Figure 4) d'une horloge de réseau rattachable à une horloge PRC ou d'une horloge PRC locale (par exemple le GPS). Cela suppose qu'une horloge PRC de référence soit disponible. Il convient de souligner que cette méthode ne préserve pas le rythme de service.



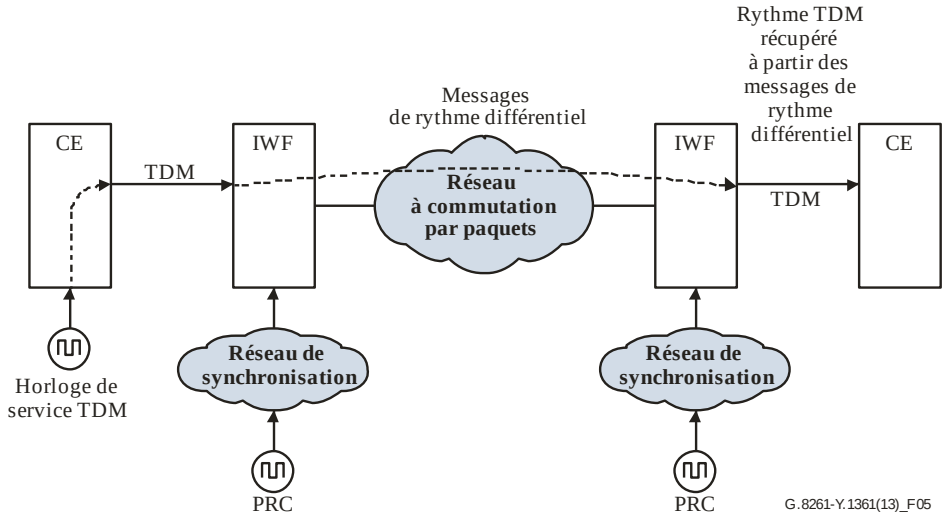
Les deux horloges PRC peuvent également provenir de la même source.

Figure 4 – Exemple de fonctionnement synchrone au niveau du réseau

NOTE – Le signal de rythme de référence à l'entrée de la fonction IWF doit être conforme aux interfaces de synchronisation définies dans les Recommandations [UIT-T G.823] et [UIT-T G.824].

8.2 Méthodes différentielles

Dans le cas des méthodes différentielles, la différence entre l'horloge de service et l'horloge de référence est codée puis transmise dans le réseau par paquets (voir la Figure 5). L'horloge de service est récupérée à l'extrémité distante du réseau par paquets, au moyen d'une horloge de référence commune. La méthode de l'horodate résiduelle synchrone (SRTS) [b-UIT-T I.363.1] est un exemple de méthode de cette famille. Il convient de souligner que ces méthodes permettent de préserver le rythme de service.



Les deux horloges PRC peuvent également provenir de la même source.

Figure 5 – Exemple de récupération du rythme fondée sur l'utilisation de méthodes différentielles

NOTE 1 – Les méthodes différentielles peuvent fonctionner avec des horloges de référence de fonction IWF qui ne sont pas rattachables à une horloge PRC. L'utilisation d'horloges non rattachables à une horloge PRC dépend de l'application et ne relève pas du domaine d'application de la présente Recommandation.

NOTE 2 – Le signal de rythme de référence à l'entrée de la fonction IWF doit être conforme aux interfaces de synchronisation définies dans les Recommandations [UIT-T G.823] et [UIT-T G.824].

8.3 Méthodes adaptatives

Les méthodes adaptatives permettent de récupérer le rythme sur la base du temps qui sépare l'arrivée de deux paquets successifs ou sur la base du niveau de remplissage du tampon de gigue. Il convient de souligner que ces méthodes préservent le rythme de service (voir la Figure 6).

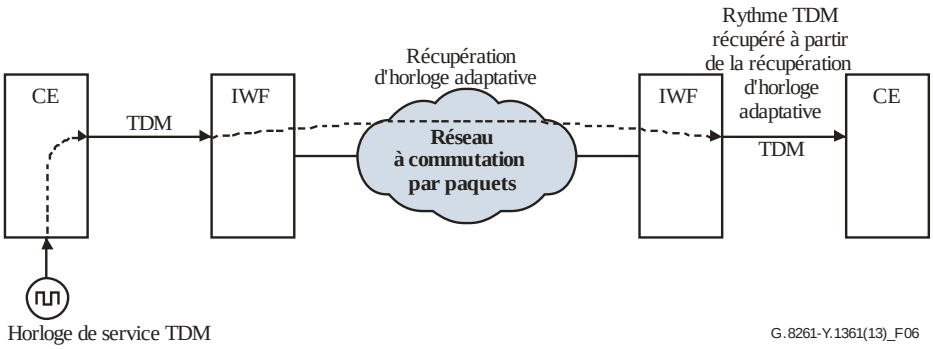
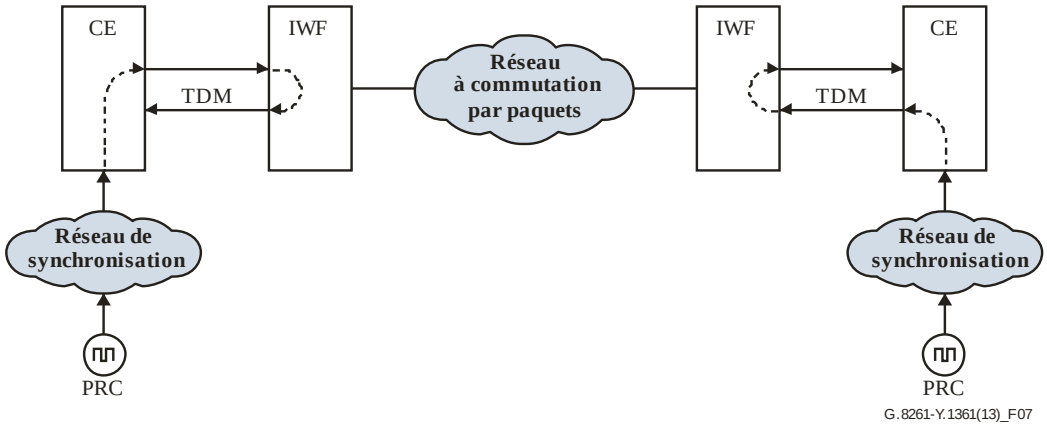


Figure 6 – Exemple de méthode adaptative

8.4 Horloge de référence disponible au niveau des systèmes d'extrémité TDM

Lorsqu'une l'horloge de référence est disponible au niveau de chaque système d'extrémité TDM, il s'agit d'un cas évident, puisque les deux systèmes d'extrémité ont directement accès à une référence de rythme et ajusteront le rythme du signal à la sortie de la fonction IWF. La récupération du rythme est donc inutile.

L'utilisation d'un bouclage du rythme dans la fonction IWF à l'interface TDM est un exemple d'application de cette méthode (voir la Figure 7). A titre d'exemple, ce scénario peut s'appliquer lorsque deux domaines de réseau RTPC sont reliés par un réseau par paquets. Dans ce cas, l'émetteur et le récepteur sont tous deux des commutateurs numériques dans lesquels il est nécessaire de limiter les glissements.



Les deux horloges PRC peuvent également provenir de la même source.

Figure 7 – Exemple de signal de rythme de référence PRC disponible au niveau des systèmes d'extrémité TDM

9 Limites dans le réseau

9.1 Limites concernant le domaine CES

Le présent paragraphe définit les limites dans le réseau relatives aux liaisons TDM à la sortie de la fonction IWF CES (sortie du sélecteur de référence dans la fonction IWF CES, voir la Figure B.4).

Les limites de gigue et de dérapage dans le réseau spécifiées actuellement dans les Recommandations UIT-T pertinentes (à savoir Recommandations [UIT-T G.823] et [UIT-T G.824]) doivent être observées dans tous les scénarios relevant de la présente Recommandation.

Le présent paragraphe décrit trois scénarios de déploiement d'un segment ou d'un îlot CES. Pour chacun de ces scénarios, il définit les limites de gigue et de dérapage pour les interfaces de trafic TDM (à l'exclusion des signaux STM-N) acheminées sur le segment CES.

Les limites dans le réseau applicables aux interfaces de synchronisation (spécifiées dans la Recommandation [UIT-T G.823] et au paragraphe 6 de la Recommandation [UIT-T G.824]) ainsi qu'aux signaux STM-N acheminés dans les réseaux par paquets, doivent faire l'objet d'un complément d'étude.

Il convient de signaler que, dans certains cas, les signaux dont la qualité est conforme aux exigences du paragraphe 5 de la Recommandation [UIT-T G.823] et du paragraphe 5 de la Recommandation [UIT-T G.824] (interfaces de trafic), lorsqu'ils sont rattachables à une horloge PRC, peuvent servir de signaux de rythme de référence pour un équipement d'extrémité capable de les tolérer et de fonctionner correctement (le modèle utilisé pour le cas 2 de déploiement est un exemple de ce scénario).

NOTE – Les limites dans le réseau définies dans le présent paragraphe sont valables dans des conditions normales (par exemple, en l'absence de défaillances ou d'opérations de maintenance). La spécification de la fraction de temps pendant laquelle ces limites sont applicables ne relève pas du domaine d'application de la présente Recommandation.

9.1.1 Modèle de réseau utilisé pour déterminer les limites dans le réseau

Pour le transport des signaux PDH, les modèles illustrés dans la Figure A.1 de la Recommandation [UIT-T G.823] et dans la Figure A.1 de la Recommandation [UIT-T G.824] constituent le point de départ à envisager lorsqu'il s'agit d'insérer un segment CES. Le bilan de dérapage attribué au segment CES ne doit représenter qu'une fraction de la totalité du bilan de dérapage spécifié dans la Recommandation [UIT-T G.823] ou [UIT-T G.824], puisque le bilan total de dérapage doit être partagé avec le reste du réseau.

Suivant l'endroit où le segment CES est situé, les exigences de dérapage applicables peuvent être différentes. Plusieurs modèles de déploiement de ce segment ont été identifiés; ils sont définis aux paragraphes 9.1.1.1, 9.1.1.2 et 9.1.1.3.

NOTE 1 – Les figures du présent paragraphe ne donnent pas de détails sur les modalités de récupération du rythme par la fonction IWF ni sur les modalités de distribution du rythme dans le réseau par paquets. On trouvera davantage de détails aux paragraphes 7 et 8.

NOTE 2 – Ces modèles présentent un seul îlot CES, étant donné qu'il s'agit d'attribuer un bilan de dérapage uniquement au segment CES. Il peut y avoir plusieurs systèmes CES, dans la mesure où le dérapage accumulé reste conforme au bilan attribué au segment CES.

L'accumulation de dérapage dans les îlots multiples doit faire l'objet d'un complément d'étude.

9.1.1.1 Cas 1 de déploiement

Lorsque le segment CES est situé dans un îlot compris entre deux commutateurs du modèle de référence [UIT-T G.823], le bilan de dérapage est calculé sur la base du modèle représenté à la Figure 8. Le modèle s'inspire de la Figure A.1 de la Recommandation [UIT-T G.823] et de la Figure A.1 de la Recommandation [UIT-T G.824], l'un des îlots SDH étant remplacé par le réseau CES.

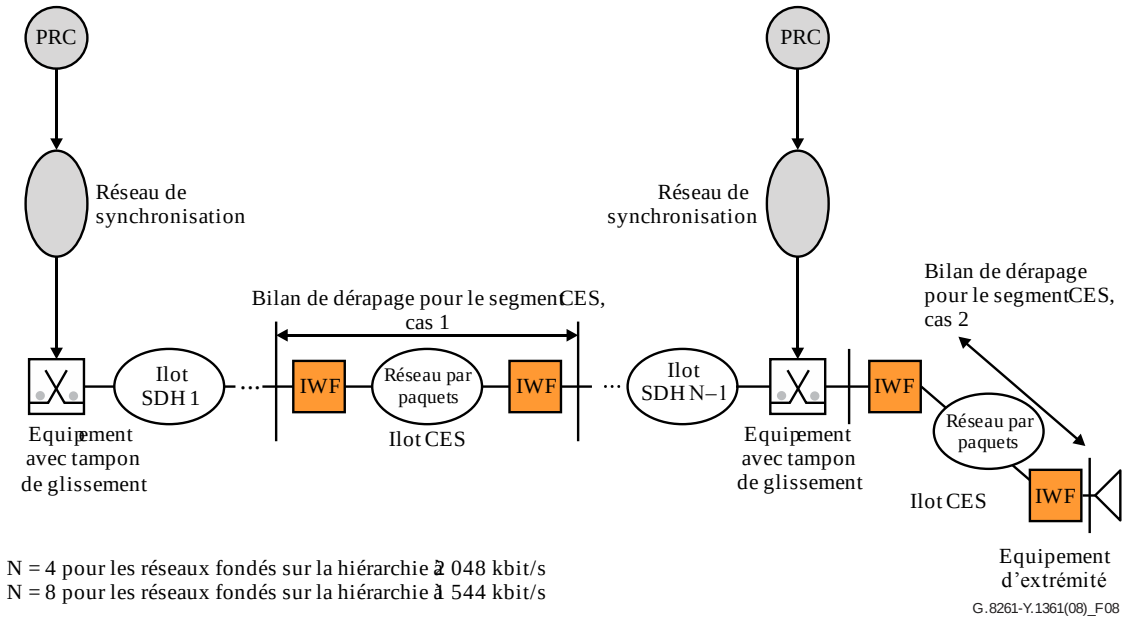


Figure 8 – Modèles de réseau relatifs au trafic et à l'accumulation de dérapage d'horloge, cas 1 et 2 de déploiement

Le bilan de dérapage, exprimé sous la forme d'une erreur relative maximale d'intervalle de temps (MRTIE), pour un signal à 2 048 kbit/s est défini dans le Tableau 1. La spécification globale résultante est illustrée dans la Figure 9.

Tableau 1 – Cas 1 de déploiement: bilan de dérapage pour une interface à 2 048 kbit/s

Intervalle d'observation τ (s)	**Exigence MRTIE (µs)**
$0{,}05 < \tau \leq 0{,}2$	$10{,}75\ \tau$
$0{,}2 < \tau \leq 32$	$9 \times 0{,}24 = 2{,}15$
$32 < \tau \leq 64$	$0{,}067\ \tau$
$64 < \tau \leq 1\ 000$	$18 \times 0{,}24 = 4{,}3$
Il est à noter que pour la configuration asynchrone, l'intervalle d'observation maximal à prendre en considération est de 80 secondes. La spécification entre 80 s et 1 000 s pour les interfaces asynchrones doit faire l'objet d'un complément d'étude.	

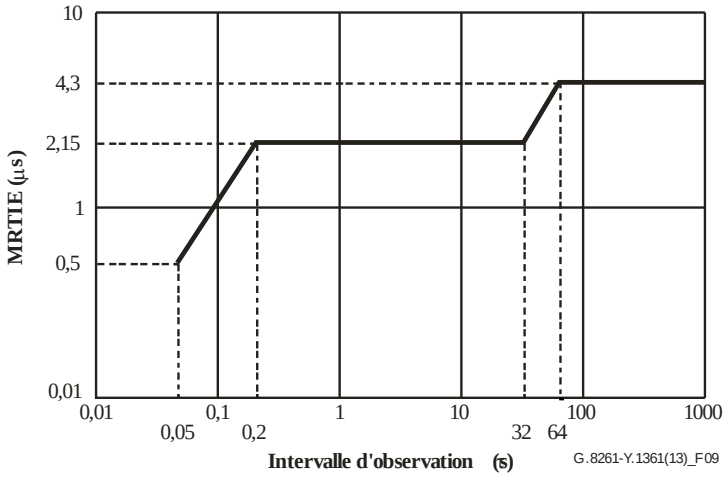


Figure 9 – Cas 1 de déploiement: bilan de dérapage pour une interface à 2 048 kbit/s

Les limites de gigue dans le réseau pour un signal à 2 048 kbit/s doivent être conformes au paragraphe 5.1 de la Recommandation [UIT-T G.823].

Le bilan de dérapage, exprimé sous la forme d'une erreur maximale d'intervalle de temps (MTIE), pour un signal à 1 544 kbit/s est défini dans le Tableau 2. La spécification globale résultante est illustrée dans la Figure 10.

Tableau 2 – Cas 1 de déploiement: bilan de dérapage pour une interface à 1 544 kbit/s

Intervalle d'observation τ (s)	**MTIE (µs)**
$\tau \leq 0,1$	Aucune exigence (voir note)
$0,1 < \tau \leq 0,47$	$4,5\ \tau$
$0,47 < \tau \leq 900$	2,1
$900 < \tau \leq 1\ 930$	$2,33 \times 10e\text{-}3\ \tau$
$1\ 930 < \tau \leq 86\ 400$	4,5
NOTE – Dans cette région, des limites de gigue s'appliquent.	

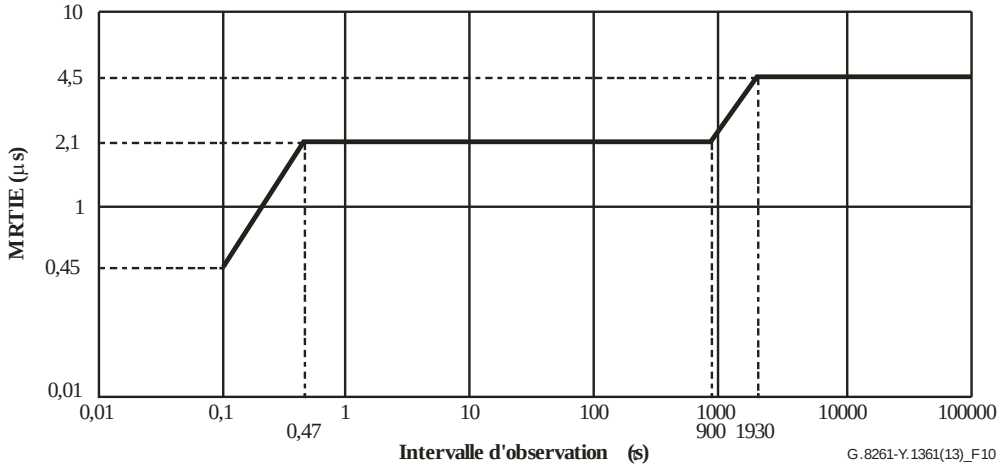


Figure 10 – Cas 1 de déploiement: bilan de dérapage pour une interface à 1544 kbit/s

Les limites de gigue dans le réseau pour un signal à 1 544 kbit/s doivent être conformes au paragraphe 5.1 de la Recommandation [UIT-T G.824].

NOTE – Les limites dans le réseau pour les autres signaux PDH (c'est-à-dire les signaux à 34 368 kbit/s, 44 736 kbit/s et à 139 264 kbit/s) acheminés par les segments CES doivent faire l'objet d'un complément d'étude.

9.1.1.2 Cas 2 de déploiement

Application A

Lorsque le segment CES est situé en dehors des éléments de réseau contenant les tampons de glissement (voir la Figure 8), l'effet d'ajustement du rythme du commutateur doit être pris en compte. A la sortie de cet équipement, le rythme du signal de trafic sera conforme à la limite dans le réseau pour un signal de synchronisation, qui est plus stricte que pour un signal de trafic.

Dans ce cas, le bilan de gigue et de dérapage du segment CES correspond à la différence entre la limite dans le réseau pour un signal à 2 048 kbit/s (voir la Figure 1 de la Recommandation [UIT-T G.823]) et la limite dans le réseau pour une interface de synchronisation à 2 048 kbit/s (voir la Figure 10 de la Recommandation [UIT-T G.823]). Le Tableau 3 indique les valeurs limites, exprimées sous la forme d'une erreur MRTIE. La spécification globale résultante est illustrée dans la Figure 11.

Tableau 3 – Cas 2A: bilan de dérapage pour une interface à 2 048 kbit/s

Intervalle d'observation τ (s)	**Exigence MRTIE (µs)**
$0{,}05 < \tau \leq 0{,}2$	$40\ \tau$
$0{,}2 < \tau \leq 32$	8
$32 < \tau \leq 64$	$0{,}25\ \tau$
$64 < \tau \leq 1\ 000$ (Note)	16
Il est à noter que pour la configuration asynchrone, l'intervalle d'observation maximal à prendre en considération est de 80 secondes. La spécification entre 80 s et 1 000 s pour les interfaces asynchrones doit faire l'objet d'un complément d'étude.	

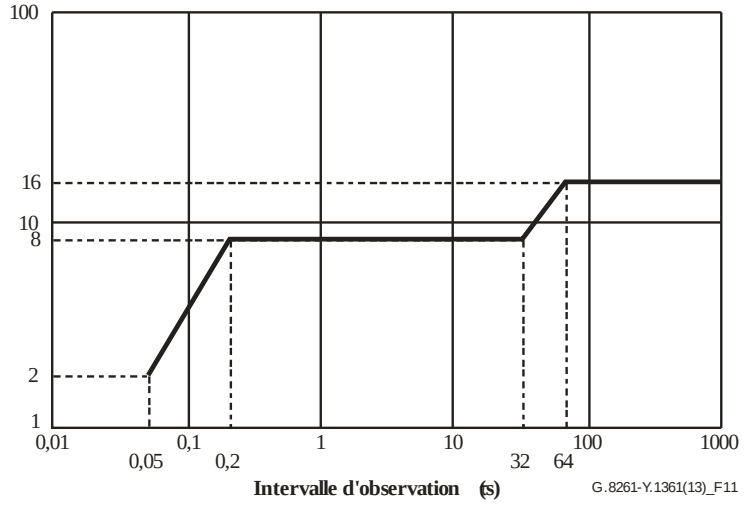


Figure 11 – Cas 2A: bilan de dérapage pour une interface à 2 048 kbit/s

Dans le cas des interfaces à 1 544 kbit/s, les exigences relatives au cas 1 s'appliquent aussi aux applications du cas 2.

NOTE 1 – Les limites dans le réseau pour les autres signaux PDH (c'est-à-dire les signaux à 34 368 kbit/s, à 44 736 kbit/s et à 139 264 kbit/s) acheminés par les segments CES doivent faire l'objet d'un complément d'étude.

Application B

Dans ce cas, l'application récupère le rythme par le biais du signal TDM, de telle sorte qu'il n'y a pas de différence de gigue ou de dérapage entre l'horloge et les données autre que dans les limites de la largeur de bande de la récupération d'horloge, puisque les données et l'horloge sont extraites du même signal. Le bilan de dérapage du segment CES est limité uniquement par la qualité de rythme requise par l'application (exigences de la station de base, par exemple) et pas nécessairement par la Recommandation [UIT-T G.823].

NOTE 2 – Cette application est valable uniquement pour les applications avec un signal unique; si en revanche deux signaux sont reçus, il peut y avoir une différence de gigue et de dérapage entre l'un de ces signaux et l'horloge extraite de l'autre signal.

9.1.1.3 Cas 3 de déploiement

Lorsqu'un ajustement de rythme est mis en oeuvre à la sortie des îlots SDH, tel qu'indiqué à la Figure 12, l'amplitude du bruit à la sortie PDH est celle d'une interface de synchronisation. Cela permet d'augmenter le bilan de dérapage jusqu'à ce qu'il atteigne celui de l'application A du cas 2 de déploiement dans certaines configurations. Il convient de noter que l'horloge de service n'est pas conservée de bout en bout dans ce cas.

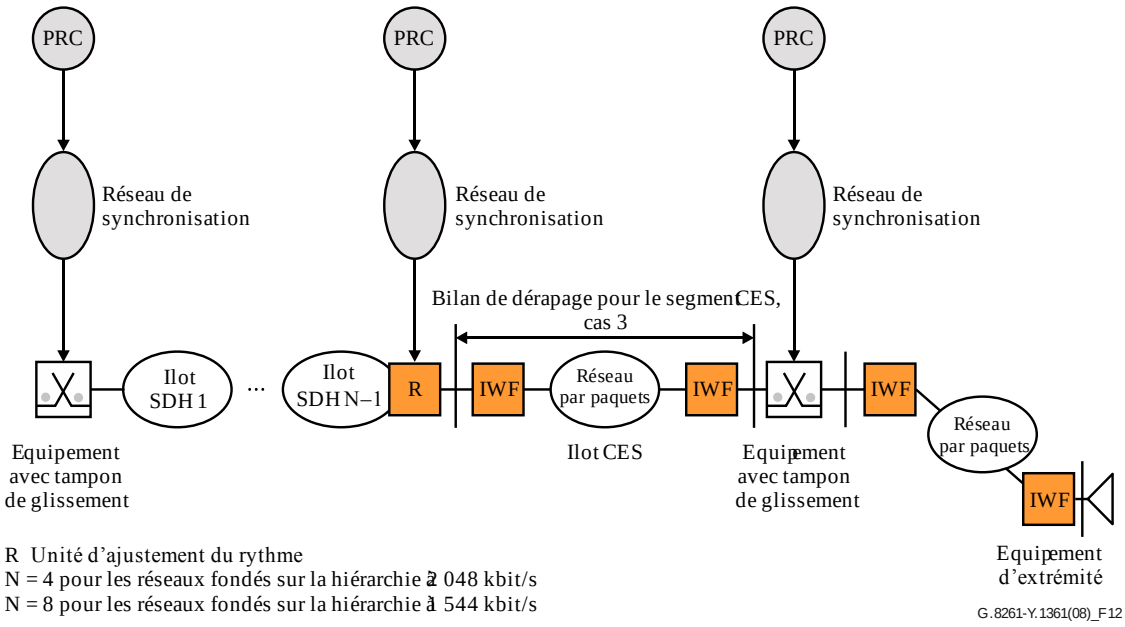


Figure 12 – Scénario du cas 3 de déploiement

9.2 Limites concernant le domaine PNT

Les modèles de réseau et les limites dans le réseau associées sont définis séparément dans le cas de l'Ethernet synchrone (interface d'horloge EEC) et dans le cas des horloges en mode paquet (interface d'horloge PEC).

En particulier, les détails concernant les chaînes de synchronisation basées sur l'Ethernet synchrone (par exemple le nombre d'horloges dans une chaîne de synchronisation) sont conformes aux modèles [UIT-T G.803], [UIT-T G.823] et [UIT-T G.824].

Certains exemples sont présentés dans la Figure D.1. Comme décrit dans ces exemples, les limites dans le réseau sont définies de manière à prendre également en charge des mises en oeuvre hybrides, associant la hiérarchie SDH avec l'Ethernet synchrone.

NOTE – Les limites dans le réseau définies dans le présent paragraphe sont valables dans des conditions normales (par exemple, en l'absence de défaillances ou d'opérations de maintenance). La spécification de la fraction de temps pendant laquelle ces limites sont applicables ne relève pas du domaine d'application de la présente Recommandation.

9.2.1 Limites dans le réseau à l'interface d'une horloge EEC

Le présent paragraphe définit les limites dans le réseau à la sortie d'une horloge EEC dans une chaîne de synchronisation.

NOTE – Ces limites s'appliquent d'une manière générale à tous les points du réseau de synchronisation. Dans certains cas d'application, principalement dans le réseau d'accès, il pourrait être possible de récupérer le rythme à partir d'un signal Ethernet qui génère une gigue et un dérapage conformes aux caractéristiques de tolérance de l'équipement connecté (on trouvera des exemples d'applications pertinentes à l'Appendice IV). L'utilisation d'une liaison Ethernet non conforme aux limites définies dans le présent paragraphe relève de la responsabilité de l'opérateur.

9.2.1.1 Limites de dérapage dans le réseau à l'interface d'une horloge EEC-option 1

La limite de dérapage dans le réseau à l'interface de sortie d'une horloge EEC-1, exprimée sous la forme d'une erreur MTIE, est donnée dans le Tableau 4. La spécification globale résultante est illustrée dans la Figure 13.

NOTE – Les valeurs sont données par rapport au temps universel coordonné (UTC), autrement dit elles comprennent le dérapage de l'horloge PRC.

Tableau 4 – Limite de dérapage dans le réseau aux interfaces d'horloge EEC-option 1, exprimée sous la forme d'une erreur MTIE

Intervalle d'observation τ (s)	**Exigence MTIE (ns)**
$0,1 < \tau \leq 2,5$	250
$2,5 < \tau \leq 20$	$100\ \tau$
$20 < \tau \leq 2\ 000$	2 000
$\tau > 2\ 000$	$433\ \tau^{0,2} + 0,01\ \tau$

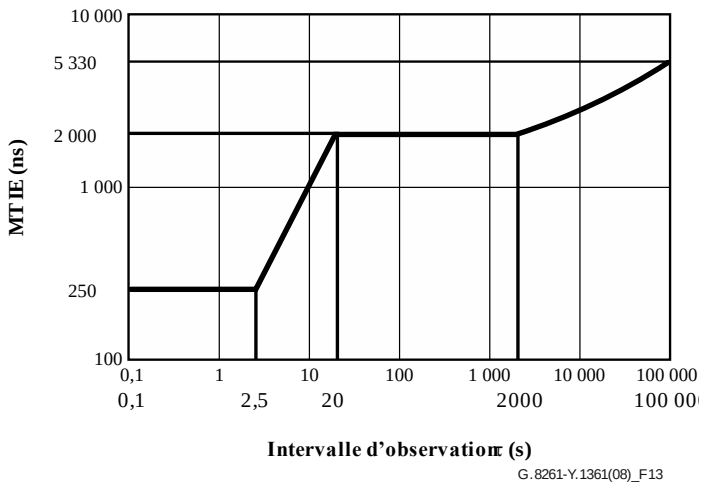


Figure 13 – Limite de dérapage dans le réseau (MTIE) aux interfaces d'horloge EEC-option 1

La limite de dérapage dans le réseau à l'interface de sortie d'une horloge EEC-option 1, exprimée sous la forme d'un écart temporel (TDEV), est donnée dans le Tableau 5. La spécification globale résultante est illustrée dans la Figure 14.

Tableau 5 – Limite de dérapage dans le réseau aux interfaces d'horloge EEC-option 1, exprimée sous la forme d'un écart TDEV

Intervalle d'observation τ (s)	**Exigence TDEV (ns)**
$0,1 < \tau \leq 17,14$	12
$17,14 < \tau \leq 100$	$0,7\ \tau$
$100 < \tau \leq 1\ 000\ 000$	$58 + 1,2\ \tau^{0,5} + 0,000\ 3\ \tau$

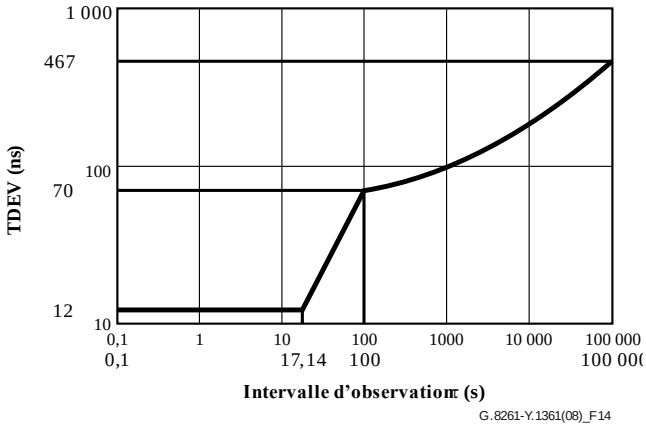


Figure 14 – Limite de dérapage dans le réseau (TDEV) aux interfaces d'horloge EEC-option 1

9.2.1.2 Limites de dérapage dans le réseau à l'interface d'une horloge EEC-option 2

La limite de dérapage dans le réseau à l'interface de sortie d'une horloge EEC-option 2, exprimée sous la forme d'un écart TDEV, est donnée dans le Tableau 6. La spécification globale résultante est illustrée dans la Figure 15.

Tableau 6 – Limite de dérapage dans le réseau (TDEV) pour une horloge EEC-option 2

Intervalle d'observation, τ (s)	**TDEV (ns)**
$0,05 < \tau \leq 10$	10
$10 < \tau \leq 1\ 000$	$3,1623\ \tau^{0,5}$

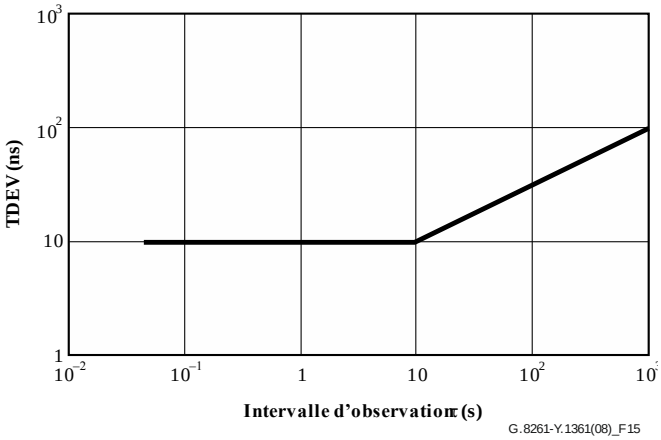


Figure 15 – Limite de dérapage dans le réseau (TDEV) pour une horloge EEC-option 2

Le gabarit de la Figure 15 provient de la Figure 5 de la Recommandation [UIT-T G.824]. On trouve également ce gabarit dans la Figure I.1 de la Recommandation [UIT-T G.813] concernant les limites de dérapage dans le réseau pour l'option 2.

9.2.1.3 Limites de gigue dans le réseau à l'interface d'une horloge EEC

Voir le Tableau 7 concernant les limites de gigue dans le réseau à l'interface d'une horloge EEC.

Tableau 7 – Limites de gigue dans le réseau à l'interface d'une horloge EEC

Interface	Référence	
2 048 kbit/s	Voir [UIT-T G.823], § 6.1: Limites dans le réseau pour la gigue de sortie aux interfaces de synchronisation, exigences pour une horloge SEC	(Note 1)
2 048 kHz		
1 544 kbit/s	Voir [UIT-T G.824], § 6.1: Limites dans le réseau pour la gigue	
STM-n	Voir [UIT-T G.825], § 5.1: Limites dans le réseau pour la gigue	
Ethernet (Ethernet synchrone)	Voir le Tableau 7a	(Note 2)
NOTE 1 – Les limites de gigue proviennent des Recommandations [UIT-T G.823], [UIT-T G.824] et [UIT-T G.825] afin d'assurer une interopérabilité correcte avec les réseaux de synchronisation basés sur des horloges SEC et avec des fonctions EEC-SEC combinées. NOTE 2 – Dans une chaîne de n ($n \leq 20$) horloges EEC connectées, la gigue accumulée dans le réseau doit être suffisamment faible pour permettre à toutes les horloges EEC participantes de respecter la spécification de gigue de sortie concernant leurs signaux de synchronisation sortants (par exemple 2 048 kHz, 2 048 kbit/s, 1 544 kbit/s). Voir la Figure 16 représentant une chaîne d'horloges EEC; voir également l'Annexe D.		

Tableau 7a – Gigue maximale admissible aux interfaces de réseau Ethernet synchrone

Interface	Largeur de bande de mesure, fréquences à –3 dB	Amplitude de crête à crête (UIpp)
1 G (Notes 1, 2, 4)	2,5 kHz à 10 MHz	1,5
10 G (Notes 1, 3, 4)	20 kHz à 80 MHz	1,5

NOTE 1 – Il n'existe pas d'exigence spécifique relative à la gigue en bande haute pour l'Ethernet synchrone. Les exigences pertinentes relatives à la gigue [IEEE 802.3] doivent être respectées en plus des exigences spécifiques relatives à la gigue en bande étendue pour l'Ethernet synchrone spécifiées dans le présent tableau.

NOTE 2 – 1 G comprend 1000BASE-KX, -SX, -LX; concernant les interfaces multivoies, un complément d'étude est nécessaire.

NOTE 3 – 10 G comprend 10GBASE-SR/LR/ER, 10GBASE-LRM, 10GBASE-SW/LW/EW; concernant les interfaces multivoies, un complément d'étude est nécessaire.

NOTE 4 –

1 G	1 UI = 0,8 ns
10 G (10GBASE-SR/LR/ER,-LRM)	1 UI = 96,97 ps
10 G (10GBASE-SW/LW/EW)	1 UI = 100,47 ps

La Figure 16 représente la chaîne de référence de n (n ≤ 20) horloges EEC et les signaux de synchronisation sortants associés.

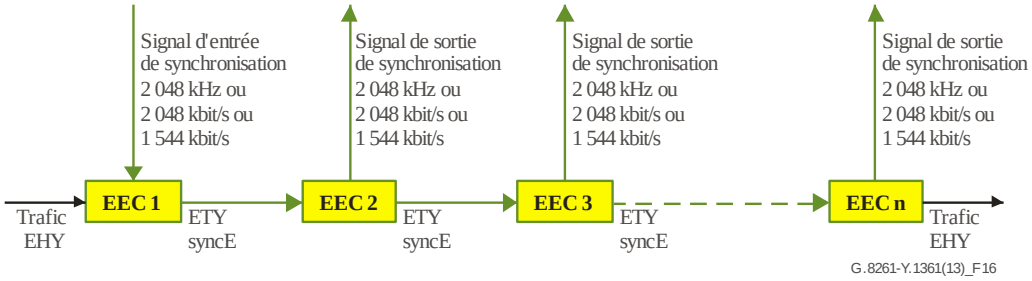


Figure 16 – Chaîne d'horloges EEC

9.2.2 Limites dans le réseau à l'interface d'une horloge PEC

Le présent paragraphe définit les limites dans le réseau à la sortie d'une horloge PEC (voir la Figure B.5).

Le présent paragraphe décrit deux scénarios de déploiement différents d'un segment ou îlot PNT avec des horloges d'équipement en mode paquet (PEC). Les limites de gigue et de dérapage pour les interfaces des horloges PEC sont définies dans le présent paragraphe pour chacun de ces scénarios. On se reportera à la Recommandation [UIT-T G.8261.1] concernant les limites dans le réseau applicables à l'entrée d'une horloge PEC.

9.2.2.1 Modèle de réseau utilisé pour déterminer les limites dans le réseau pour une horloge PEC

Pour le transport des signaux de rythme de référence, les modèles illustrés dans la Figure 8-5 de la Recommandation [UIT-T G.803] et dans la Figure B.3 de la Recommandation [UIT-T G.823] constituent le point de départ à envisager lorsqu'il s'agit d'insérer un segment PNT.

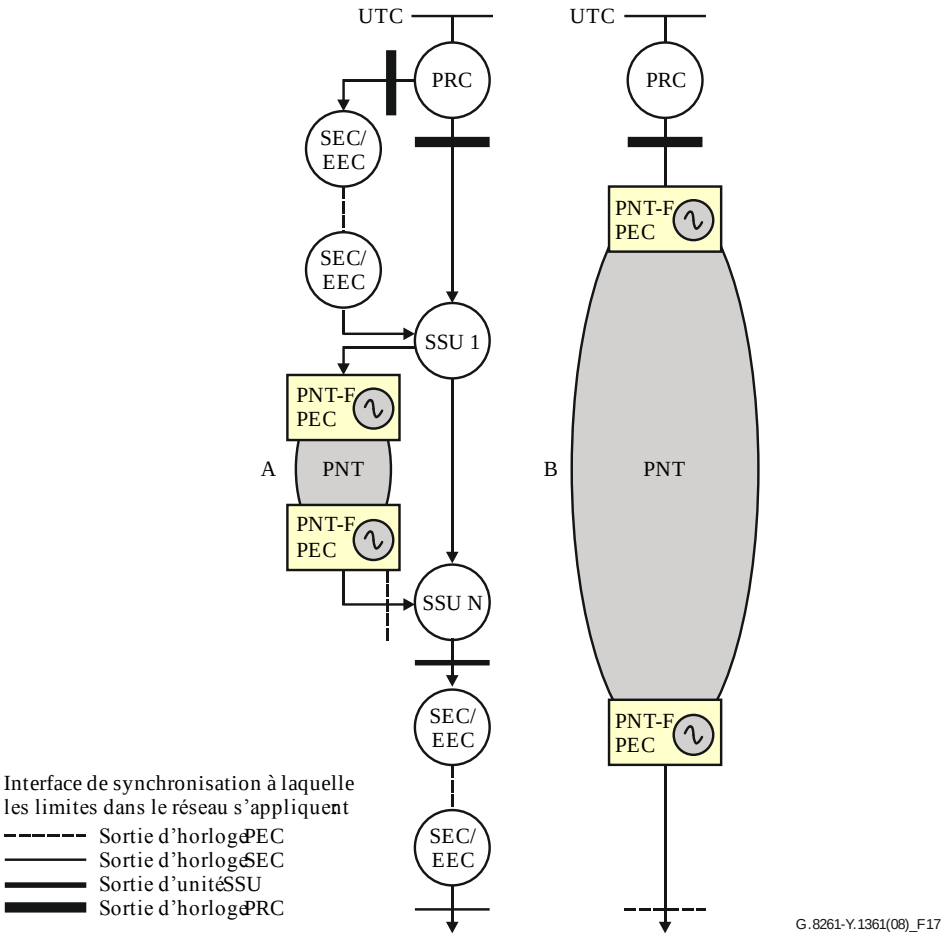
Suivant l'endroit où le segment PNT est situé, les exigences de dérapage applicables peuvent être différentes. Plusieurs modèles de déploiement de ce segment ont été identifiés; ils sont définis dans le présent paragraphe.

NOTE – Les figures du présent paragraphe ne donnent pas de détails sur les modalités de distribution du rythme dans le réseau par paquets. On trouvera davantage de détails au paragraphe 7.

Cas 1 de déploiement PNT

Le modèle pour le cas 1 de déploiement PNT est représenté dans la Figure 17. Dans ce cas, on a un réseau de synchronisation de type commande-asservissement qui, au lieu d'utiliser des technologies TDM (par exemple SDH ou PDH), est mis en oeuvre sur des technologies de réseau en mode paquet.

La figure de gauche (modèle A) montre un exemple dans lequel une partie du réseau de synchronisation est remplacé par un segment PNT et, dans la figure de droite (modèle B), le réseau de synchronisation est entièrement mis en oeuvre sur un segment PNT.



NOTE – L'horloge PEC est l'horloge de la fonction PNT-F qui s'applique dans ce modèle. Concernant le déploiement d'autres horloges dans le réseau (par exemple le déploiement d'une partie du segment PNT sur la base d'une horloge EEC et d'une partie sur la base d'une horloge PEC), un complément d'étude est nécessaire.

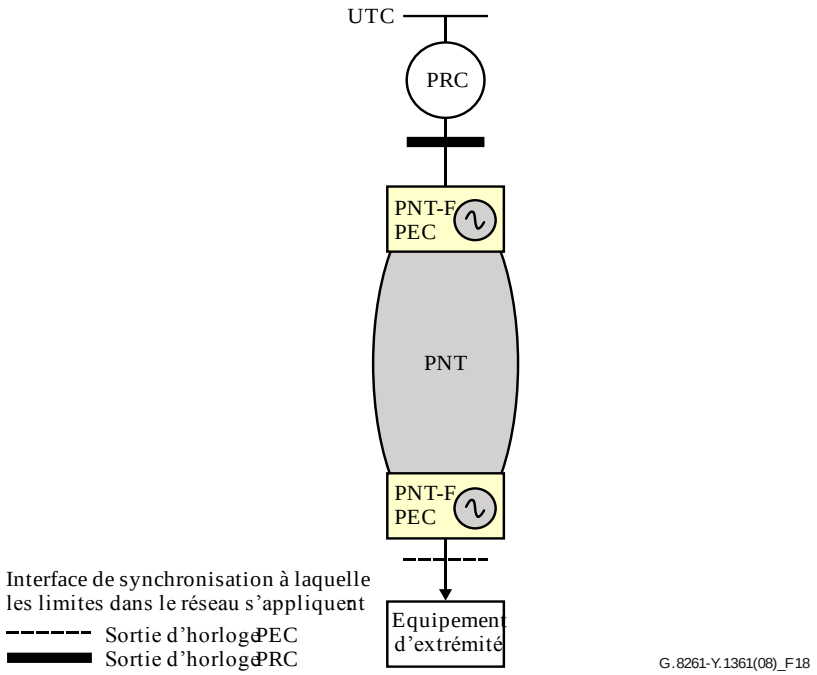
Figure 17 – Segment PNT remplaçant une partie (modèle A) ou la totalité (modèle B) du réseau de synchronisation TDM

Les limites dans le réseau définies au paragraphe 9.2.1 (limites dans le réseau pour une horloge EEC) s'appliquent à la fois aux modèles A et B.

Cas 2 de déploiement PNT

Le modèle pour le cas 2 de déploiement PNT est représenté dans la Figure 18.

Dans ce cas, le rythme est distribué vers l'équipement d'extrémité (par exemple un émetteur-récepteur de base (BTS), voir l'Appendice IV).



NOTE – L'horloge PEC est l'horloge de la fonction PNT-F qui s'applique dans ce mod
Concernant le déploiement d'autres horloges dans le réseau (par exemple le déploieme
d'une partie du segment PNT sur la base d'une horloge EEC et d'une partie sur la base
d'une horloge PEC), un complément d'étude est nécessaire.

Figure 18 – Distribution du rythme PNT vers l'équipement d'extrémité

Dans le cas 2 de déploiement, les exigences sont fixées par l'équipement d'extrémité. Elles sont exprimées en termes de tolérance et en termes de niveau de précision requis pour un fonctionnement correct.

Par conséquent, le segment PNT dans le cas 2 de déploiement est autorisé à générer une gigue et un dérapage pouvant aller jusqu'aux limites tolérées par l'équipement d'extrémité (par exemple les limites dans le réseau pour les interfaces de trafic définies au paragraphe 5 de la Recommandation [UIT-T G.823] ou au paragraphe 5 de la Recommandation [UIT-T G.824]).

D'autres exemples de limites dans le réseau qui s'appliquent spécifiquement aux équipements sans fil sont décrits au paragraphe IV.2.3.

10 Incidence des altérations dans les réseaux par paquets sur la distribution du rythme et sur la récupération de l'horloge de service

Le présent paragraphe examine les différentes altérations affectant le trafic et ses informations de rythme dans les réseaux par paquets. Il faut préciser que dans les conditions d'exploitation, les exigences relatives aux circuits émulés et aux horloges récupérées, spécifiées au paragraphe 9, doivent être vérifiées.

Pour l'essentiel, la gestion des tampons exige la synchronisation des réseaux de couche 1. Les tampons de couche 1 présents dans les réseaux PDH, SDH et OTN (réseau de transport optique) ainsi que les fonctions d'adaptation correspondantes sont des structures simples, dans lesquelles les débits nominaux à l'entrée et à la sortie sont maintenus dans des limites spécifiques, indiquées dans les normes relatives à ces réseaux TDM. La gestion de ces tampons et la prise en compte des différents domaines de fourniture d'horloge font appel à des mécanismes tels que les octets de bourrage et les pointeurs, ainsi que les horloges de système. La conception du réseau limite la taille des tampons de façon à réduire au minimum le temps de réponse. Dans les réseaux de couche 1, par exemple SDH,

il y a un lien direct entre l'horloge de réseau et le niveau de dérapage ou de gigue susceptible d'être conféré à un signal client.

Dans le cas d'un transport utilisant des réseaux de données par paquets, les données sont acheminées par le réseau en bloc (paquets, trames) au lieu d'être acheminées sous la forme d'un flux continu à débit binaire constant. Les paquets peuvent faire l'objet d'un multiplexage statistique puis sont acheminés via des commutateurs par paquets, qui infligent à chacun d'eux un retard en raison des opérations de traitement, de mise en tampon et de transmission réalisées au niveau des commutateurs intermédiaires. Dans un commutateur donné, il se peut que plusieurs flux de paquets doivent converger vers un tampon de sortie unique. Le conflit qui en résulte au niveau du tampon se traduit par un temps de transfert variable. Dans certains cas, des paquets seront abandonnés. Il est probable que l'horloge utilisée pour les liaisons de transmission de la couche 1 soit asynchrone par rapport à l'horloge du commutateur. Tout écart de débit de présentation des paquets à transmettre par rapport au débit de transmission réel est pris en compte par ajout de bits de bourrage entre les paquets ou par élimination de paquets.

Puisque les paquets peuvent suivre des routes différentes, on peut constater d'importantes variations du temps de transfert individuel dans un flux de paquets, depuis l'entrée jusqu'à la sortie. De plus, les paquets peuvent être déclassés, entraînant une mise en tampon supplémentaire. Les services qui utilisent le réseau par paquets doivent prendre en considération ces altérations. Dans le cas des réseaux par paquets, il faut des tampons de grande taille pour pouvoir effectuer le traitement au niveau de chaque paquet, auquel cas la prise en charge de la plupart des services exige seulement des niveaux de synchronisation sommaires.

Contrairement à un réseau de couche 1, par exemple un réseau SDH, il n'y a pas de relation directe entre l'horloge de réseau et les tampons de traitement des paquets. Par conséquent, le rythme du réseau ne peut servir à réguler la variation du temps de transfert des paquets dans ces réseaux. L'application à un commutateur par paquets de la synchronisation de réseau n'est généralement pas nécessaire sinon pour répondre aux exigences de synchronisation aux interfaces du commutateur au niveau de la couche physique, conformément aux exigences correspondantes aux interfaces TDM, prescrites par les normes de réseau associées (par exemple SDH/PDH).

Des exigences de rythme des services acheminés au niveau de couches situées au-dessus du réseau de couche 2 (par exemple TVIP, MPEG-4) sont formulées de façon à prendre en compte les variations des réseaux par paquets existants. Tout rythme particulier à un service est codé au niveau de la couche service (par exemple H.264, MPEG-4).

Toutefois, dans certains cas, la couche physique d'un réseau par paquets est synchrone (par exemple, SDH) et peut être utilisée par la couche adaptation.

Dans la plupart des cas, les informations transmises par le réseau par paquets, c'est-à-dire les informations caractéristiques, ne contiennent pas d'informations de rythme. Il en résulte un certain nombre d'implications lorsque les services exigent le transfert d'un rythme précis. Dans le cas des services de bout en bout, les caractéristiques de rythme de la couche serveur doivent prendre en charge les exigences de synchronisation du client. Suivant les mécanismes classiques de la couche 1 (PDH, SDH et OTN), les mécanismes d'adaptation au rythme du réseau sont spécifiquement conçus pour être compatibles avec les exigences de rythme du signal client. Lorsque la couche serveur n'est pas capable de prendre en charge le rythme du client, il faut parfois mettre en place d'autres moyens à cet effet. Cela s'effectue normalement au niveau de la couche d'adaptation au réseau. La couche ATM AAL1 en constitue un exemple.

Les altérations rencontrées dans le réseau par paquets peuvent avoir un effet préjudiciable sur la récupération de l'horloge de service au moyen de méthodes adaptatives. Le présent paragraphe étudie les niveaux d'altération auxquels un processus de récupération de l'horloge doit pouvoir faire face tout en maintenant l'horloge conforme aux spécifications appropriées.

Les paramètres de performance suivants concernant les altérations dans un réseau par paquets sont définis dans les Recommandations [UIT-T Y.1540] (pour les réseaux IP) et [UIT-T Y.1561] (pour les réseaux MPLS). Des mesures de performance analogues concernant les réseaux Ethernet sont par ailleurs définies dans la Recommandation [UIT-T Y.1731].

1) Temps de transfert des paquets et variation du temps de transfert.

2) Taux d'erreurs sur les paquets.

3) Taux de perte de paquets.

4) Résultat de bloc à forte perte de paquets.

10.1 Temps de transfert des paquets et variation du temps de transfert

10.1.1 Méthodes différentielles

Le temps de transfert et la variation du temps de transfert des paquets ne doivent pas avoir d'incidence sur la récupération d'horloge lorsqu'une horloge de référence de réseau est disponible aux deux extrémités et que des méthodes différentielles sont utilisées.

10.1.2 Méthodes adaptatives

Une récupération adaptative de l'horloge de service à partir d'un flux de paquets contenant des données à débit binaire constant ou des données d'horodate est réalisée, en général, par des calculs effectués en fonction du débit d'arrivée ou des instants d'arrivée des paquets au noeud de destination.

Si le temps de transfert via le réseau par paquets est constant, la fréquence d'arrivée des paquets au noeud de destination n'est pas modifiée par le réseau. Il peut y avoir un décalage de phase dans l'horloge récupérée, imputable au temps de transfert via le réseau, mais il ne devrait y avoir aucun dérapage de fréquence ou de phase.

Si le temps de transfert varie, un processus de récupération d'horloge peut le percevoir comme une modification de phase ou de fréquence de l'horloge de service d'origine. Aussi la conception d'un processus de récupération d'horloge doit-elle examiner attentivement les causes de variation du temps de transfert.

La variation du temps de transfert dans un réseau par paquets peut avoir plusieurs causes, notamment:

– Variation de temps de transfert aléatoire (par exemple, temps d'attente en file d'attente).

– Variation de temps de transfert à faible fréquence (par exemple, les variations jour/nuit).

– Variation de temps de transfert systématique (par exemple mécanismes d'enregistrement et de retransmission de la couche de transport sous-jacente).

– Modifications du routage.

– Effets d'encombrement.

10.1.2.1 Variation de temps de transfert aléatoire

La variation de temps de transfert aléatoire est la conséquence du comportement des commutateurs ou des routeurs du réseau par paquets. La principale contribution en est le temps d'attente dans la file d'attente de sortie, observé lorsqu'un paquet arrive à un commutateur ou à un routeur alors que le port de sortie est bloqué par le reste du trafic, et que le paquet doit être mis en file d'attente. D'autres facteurs imputables au fonctionnement interne du commutateur ou du routeur risquent en outre de retarder le paquet, comme indiqué à l'Appendice I.

Il est impossible de prédire avec un degré de certitude quelconque le temps de transfert d'un paquet dans un commutateur ou un routeur, bien que selon toute vraisemblance le temps de transfert augmente en fonction de la charge du dispositif. Il y aura donc une certaine corrélation entre le temps de transfert de paquets successifs et la charge de trafic dans le réseau.

10.1.2.2 Variation de temps de transfert à faible fréquence

Comme indiqué ci-dessus, le temps de transfert dans un réseau par paquets, certes imprévisible, est généralement en corrélation avec la charge du réseau au cours de la période de temps considérée. La charge est une grandeur dynamique, et peut contenir des composantes très basse fréquence. Par exemple, si un réseau est plus fortement chargé le jour que la nuit, il en résulte une composante de la variation de charge dont la période est de 24 heures.

Cette variation à très basse fréquence peut aboutir à un dérapage de phase dans une horloge récupérée à partir d'un flux de paquets au cours de la même période. Etant donné que bon nombre des spécifications d'horloge correspondantes limitent le dérapage de phase admissible sur une période de 24 heures ou plus (par exemple [UIT-T G.824]), la conception du processus de récupération d'horloge doit corriger ce phénomène.

10.1.2.3 Variation de temps de transfert systématique

Certains types de réseaux de transport sous-jacents peuvent provoquer une variation systématique du temps de transfert des paquets dans le temps. Par exemple, certains types de transport utilisent une "fenêtre de transmission" ou "créneau temporel" et entreposent les paquets à transmettre jusqu'à l'ouverture de ladite fenêtre. On peut citer par exemple les réseaux PON (réseau optique passif), xDSL (ligne d'abonné numérique x) et WiMAX (interopérabilité mondiale pour l'accès hyperfréquence).

La fenêtre de transmission a pour effet d'imposer un profil de temps de transfert en dents de scie systématique à un flux de paquets (voir la Figure 19). En ce qui concerne les flux de paquets à débit régulier, par exemple ceux qui contiennent des données à débit binaire constant, la période de la fenêtre de transmission et le débit des paquets risquent d'entraîner un battement, et de provoquer une lente variation du temps de transfert dans le temps. Ces effets sont très voisins de la gigue du temps d'attente dans les réseaux TDM. Dans les réseaux TDM, il est possible de contrôler la gigue de temps d'attente, mais cela n'est pas le cas dans les réseaux par paquets.

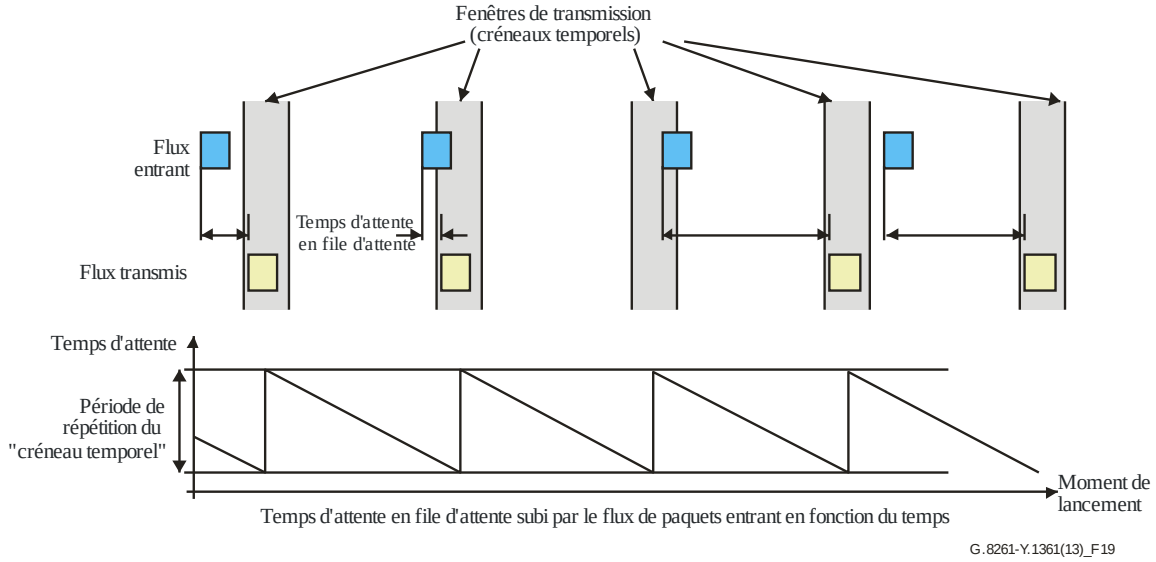


Figure 19 – Variation de temps de transfert systématique due à un réseau comportant des créneaux temporels

Le battement avec d'autres flux de paquets réguliers constitue un autre type de variation de temps de transfert systématique que peuvent subir les flux de paquets à débit régulier. La Figure 20 présente le résultat de la combinaison de deux flux de paquets sensiblement à la même fréquence dans une même liaison par paquets, par un commutateur ou un routeur.

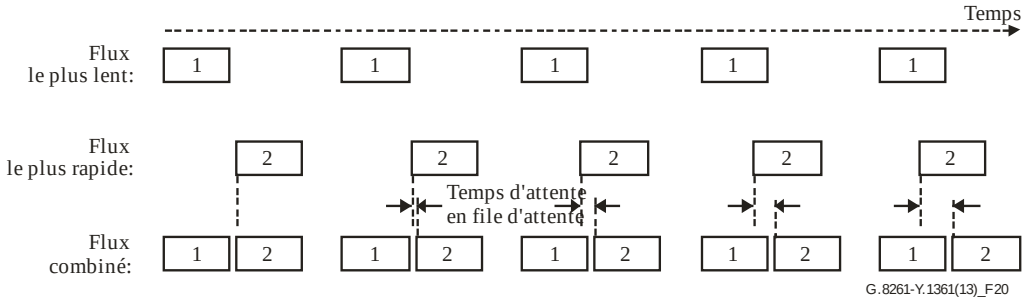


Figure 20 – Battement entre flux de paquets à débit régulier

Le flux 1 est le flux le plus lent et, pendant un certain temps, les paquets du flux 1 parviennent au commutateur ou au routeur avant ceux du flux 2. Toutefois, les paquets du flux 2 commencent à rattraper le retard. Etant donné qu'un seul paquet à la fois peut être lancé sur la liaison par paquets, les paquets du flux 2 commencent à devoir attendre en file d'attente (voir la Figure 21). La durée de cette attente augmente au point d'atteindre le temps de transmission du paquet sur la liaison.

Au bout d'un certain temps, les paquets du flux 2 commencent à arriver au commutateur ou au routeur avant ceux du flux 1, et n'ont alors plus à attendre en file d'attente. A ce stade, ce sont les paquets du flux 1 qui doivent maintenant attendre en file d'attente. La durée de cette attente diminue régulièrement jusqu'à ce que les paquets du flux 1 parviennent au commutateur après que les paquets du flux 2 ont été transmis.

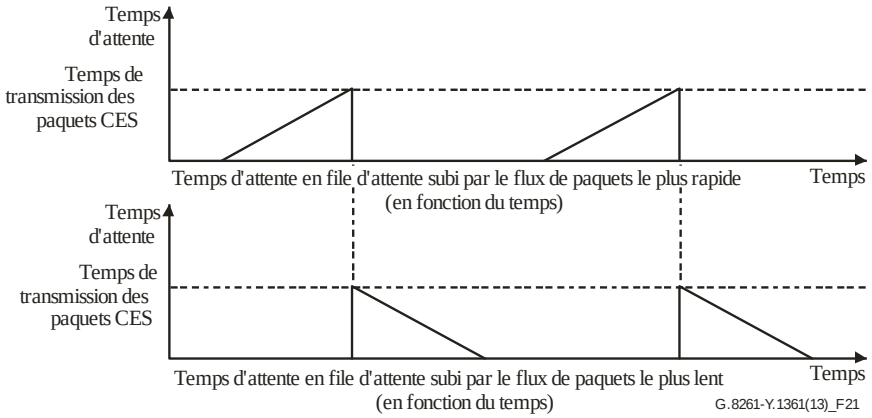


Figure 21 – Profils du temps d'attente subi par des flux de paquets en battement

La durée pendant laquelle les flux de paquets subissent une attente en file d'attente (c'est-à-dire la largeur des triangles représentée à la Figure 21) est inversement proportionnelle à la différence de débit entre les deux flux de paquets. Lorsque les débits de paquets sont très voisins, la durée peut être extrêmement longue. Cette variation à long terme du temps de transfert risque de provoquer un lent dérapage de phase dans toute horloge récupérée à partir d'un des flux de paquets.

Lorsque plusieurs flux asynchrones à débit régulier partagent la même liaison par paquets, l'effet observé peut être additif. Dans le pire des cas, les paquets de chacun des flux risquent de s'aligner exactement et de maximiser le temps d'attente en file d'attente, bien que la fréquence de ce battement combiné diminue en fonction du nombre de flux.

10.1.2.4 Modifications du routage

La route suivie par un flux de paquets à travers un réseau par paquets peut varier à certains moments. Cela peut être la conséquence d'erreurs de réseau (routage autour d'une liaison défaillante ou encombrée), d'une commutation de protection afin d'utiliser une route de substitution, ou d'une reconfiguration du réseau.

Il en résulte une variation échelon du temps de transmission dans le réseau. En l'absence de correction, celle-ci peut être perçue au niveau de l'horloge récupérée comme une variation de phase. Il faut déceler ces variations et en tenir compte dans le processus de récupération d'horloge. En règle générale, les fortes variations de temps de transmission sont relativement faciles à détecter et à corriger, tandis que les variations faibles risquent d'être dissimulées par la variation générale du temps de transmission ou par la dérive de l'oscillateur local au noeud de récupération d'horloge.

10.1.2.5 Effets d'encombrement

L'encombrement résulte de l'accroissement temporaire de la charge de trafic dans l'ensemble d'un réseau ou dans une partie seulement. Il risque d'entraîner la "surcharge" de l'ensemble du réseau ou d'une partie ainsi que des retards ou des pertes considérables de paquets. La durée des épisodes d'encombrement est variable, et peut atteindre plusieurs secondes ou plusieurs minutes. Si le réseau subit des épisodes fréquents d'encombrement grave d'une durée supérieure à 5 minutes, cela signifie que le réseau n'est vraisemblablement pas adapté à l'émulation de circuit.

10.1.2.6 Mécanisme de blocage lié à la topologie dans les réseaux par paquets

La topologie du réseau et, en particulier, l'interaction avec d'autres flux dans le réseau peuvent avoir une incidence sur le temps de transfert d'un flux de paquets. Ceci est dû au fait que des paquets de tailles différentes traversent le réseau à des débits différents. Les paquets de grande taille mettent plus de temps à traverser un réseau, car ils doivent être lus en totalité dans un élément de réseau avant de pouvoir être traités et transmis à l'élément suivant. Les paquets CES et de rythme sont généralement courts et leur transfert dans un réseau est rapide.

Lorsque la topologie du réseau comprend des routes partagées (par exemple comme indiqué dans la Figure 22), elle peut entraîner un temps de transfert supplémentaire, y compris pour des volumes de trafic relativement faibles.

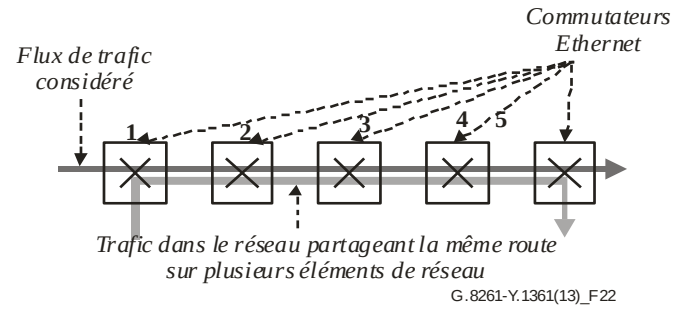


Figure 22 – Topologie avec des routes partagées

Lorsqu'un flux de paquets de grande taille partage le même trajet sur deux liaisons consécutives ou plus, il peut commencer à entraver la transmission des paquets de petite taille. Ce phénomène se produit lorsque des paquets de petite taille "rattrapent" des paquets de grande taille, car ils se propagent plus rapidement dans le réseau. La Figure 23 illustre ce phénomène:

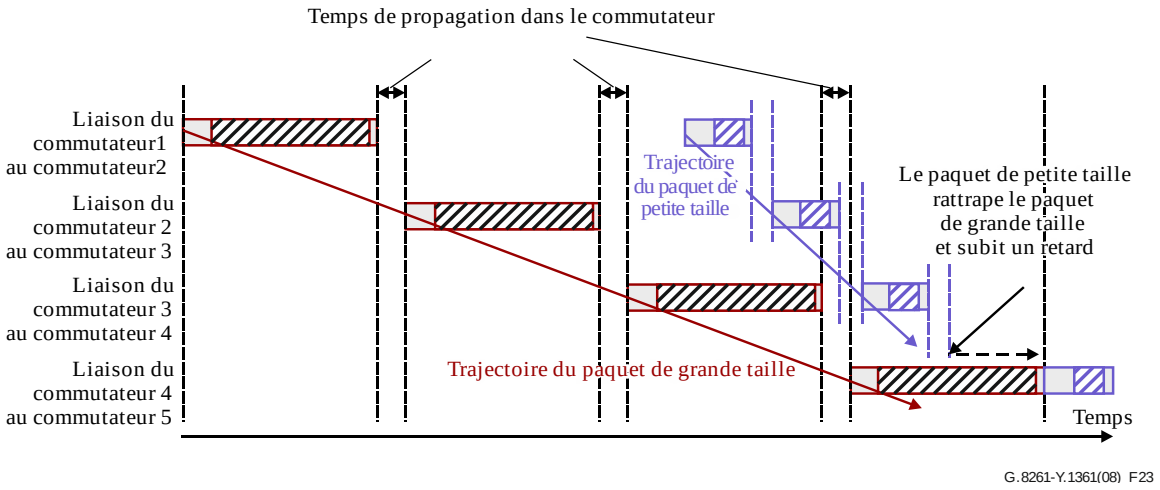


Figure 23 – Blocage dû à un paquet de grande taille le long d'une route partagée

Le phénomène est tel que si la charge des paquets de grande taille est suffisamment importante, les paquets de petite taille risquent d'être retardés au cours de leur transit dans le réseau (il est à noter que ce retard varie en fonction de la taille relative des paquets de petite taille et des paquets de grande taille). Il s'ensuit que le temps de transfert le plus court possible dans le réseau augmente proportionnellement en fonction de cette charge.

10.2 Incidences des altérations concernant les paquets

10.2.1 Erreurs sur les paquets et pertes de paquets

Les altérations observées dans les réseaux par paquets ont des conséquences sur trois éléments distincts du trajet d'acheminement, à savoir le processus de récupération d'horloge IWF (il est à noter qu'il n'est peut-être pas possible de surveiller ce processus), la récupération d'horloge de service et le service TDM proprement dit. Les limites en matière de pertes de paquets et de déclassement des paquets et les conséquences correspondantes pour le service et pour les processus de récupération d'horloge doivent faire l'objet d'un complément d'étude.

Les sous-paragraphes ci-après présentent d'autres considérations à ce sujet.

Les pertes de paquets et le déclassement des paquets n'affectent pas de manière significative les performances de récupération d'horloge IWF pour aucune des méthodes examinées dans la présente Recommandation. En particulier, aux niveaux pour lesquels le service de transport TDM reste utilisable, les pertes de paquets (tant uniformes que par salves) et le déclassement des paquets ont un effet négligeable sur les performances de récupération d'horloge IWF.

10.2.1.1 Incidence sur le service TDM

Les circuits TDM acheminés via des réseaux par paquets peuvent être extrêmement vulnérables aux erreurs sur les bits causées par les pertes de paquets. Cela s'explique notamment par le fait que les erreurs sur les bits sont amplifiées du fait du transport par paquets – puisqu'une seule erreur sur les bits dans le paquet entraîne l'élimination de l'ensemble du paquet et la production d'une salve d'erreurs consécutives sur les bits dans le flux TDM récupéré. Aussi, il suffit de niveaux modérés de pertes de paquets (du point de vue d'un réseau classique par paquets) pour entraîner l'indisponibilité d'un circuit TDM.

NOTE – La vulnérabilité des circuits TDM dépend normalement et principalement des caractéristiques spécifiques de la fonction IWF. Certaines fonctions IWF emploient parfois différentes techniques de dissimulation des pertes de paquets afin de protéger l'application contre ce phénomène.

10.2.1.2 Incidence sur le processus de récupération d'horloge de la fonction IWF

La récupération d'horloge de la fonction IWF associe le paquet à l'algorithme de récupération d'horloge, l'horloge intégrée et la méthode de récupération du rythme utilisée (c'est-à-dire adaptative ou différentielle). Les performances du processus de récupération d'horloge de la fonction IWF sont le résultat conjoint des contraintes sur le réseau par paquets, de l'algorithme utilisé pour les surmonter, de l'horloge intégrée dans la fonction IWF et enfin de la méthode de récupération du rythme utilisée.

NOTE – Les limites en matière de pertes de paquets et de déclassement à des fins de préservation de la récupération d'horloge de la fonction IWF et d'horloge de service doivent être spécifiées afin de couvrir tous les scénarios possibles de pertes de paquets; ces limites doivent faire l'objet d'un complément d'étude.

10.2.1.3 Incidence sur la récupération d'horloge de service

En ce qui concerne le processus de récupération d'horloge de service, il est indispensable que la récupération d'horloge résiste à des niveaux de perte de paquets nettement plus élevés que le circuit TDM proprement dit, de façon à ce que l'horloge de service reste conforme aux spécifications au-delà du stade où les données sont dites non disponibles. La récupération d'horloge de la fonction IWF aura une incidence directe sur les performances en matière de récupération d'horloge de service.

10.2.2 Résultat de bloc à forte perte de paquets

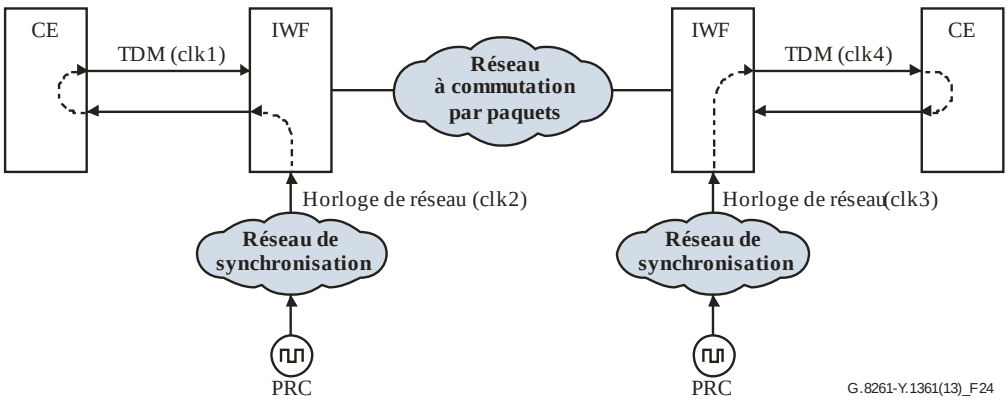
Au sens des Recommandations [UIT-T Y.1540] et [UIT-T Y.1561], un bloc est qualifié de bloc à forte perte de paquets lorsque pour un bloc de paquets observé à l'interface d'entrée au cours d'un intervalle T, le rapport du nombre de paquets perdus au nombre total de paquets dépasse un certain seuil. On s'attend à des effets analogues dans les réseaux Ethernet.

Au cours de ces altérations, le mécanisme de récupération du rythme doit traiter le nombre total de pertes de paquets tel qu'indiqué au paragraphe 10.2.1. Un complément d'étude est nécessaire à ce sujet.

11 Incidence de l'altération de l'horloge de référence sur la récupération de l'horloge de service

11.1 Altérations dans le cas des méthodes de fonctionnement synchrone au niveau du réseau

La Figure 24 représente les horloges utilisées pour le transport de signaux TDM dans un réseau par paquets.



Les deux horloges PRC peuvent également provenir de la même source.

Figure 24 – Horloges utilisées dans le transport des signaux TDM dans un réseau par paquets, en cas de fonctionnement synchrone au niveau du réseau

Les horloges sont les suivantes:

– L'horloge qui produit le signal TDM (clk1 dans la figure).

– L'horloge de référence du réseau utilisée pour défaire les paquets dans la fonction IWF de gauche (clk2 dans la figure).

– L'horloge de référence du réseau utilisée pour défaire les paquets dans la fonction IWF de droite (clk3 dans la figure).

– L'horloge qui produit le signal TDM en aval du réseau par paquets (clk4 dans la figure).

L'horloge clk1 doit être rattachable à une horloge PRC, ce qui peut être obtenu par un bouclage du rythme tel qu'indiqué à la Figure 24 ou par un autre moyen. Sinon, l'utilisation d'une référence d'horloge de réseau dans le dépaquetiseur (c'est-à-dire ckl3 sur la figure) posera des problèmes délicats.

Pour obtenir un rythme correct dans le signal de sortie TDM, l'horloge qui produit les signaux TDM (c'est-à-dire clk1) et l'horloge qui ajuste le rythme de ces signaux (c'est-à-dire clk4) doivent avoir la même fréquence à long terme (ou dans les limites PRC), faute de quoi on constatera un taux de glissement inacceptable (le bruit à court terme doit être maintenu dans les limites applicables).

En fonctionnement normal, l'horloge de référence de réseau au niveau de la source TDM (clk1) et l'horloge de référence de réseau au niveau du dépaquetiseur sont toutes les deux verrouillées sur un signal de rythme de référence rattachable à une horloge primaire de référence. Toutefois, en présence de défaillances dans le réseau de synchronisation, ces horloges peuvent être verrouillées sur un signal de rythme de référence rattachable à une horloge fonctionnant en mode maintien. Pendant ces défaillances, ces horloges devraient fonctionner suivant un mode maintien approprié, fondé sur les objectifs en termes de taux de glissement définis par la Recommandation [UIT-T G.822].

L'horloge qui assume cette fonction de maintien pendant les défaillances du réseau de synchronisation peut être soit intégrée à l'équipement proprement dit, soit disponible sur le site (par exemple, en étant intégrée à un élément du réseau de transmission ou à un équipement autonome de synchronisation (SASE)). Il incombe au planificateur du réseau de mettre en place la solution la plus indiquée.

Pour résumer, le mode de fonctionnement synchrone au niveau du réseau exige soit l'introduction d'horloges précises dans la fonction IWF collectrice soit un système permettant de commuter sur une autre horloge appropriée en cas de perte de synchronisation par rapport à l'horloge du réseau (PRC).

Afin de détecter les périodes de perte de synchronisation, il faut mettre en place un certain type de contrôle de la rattachabilité (par exemple, SSM).

11.2 Altérations dans le cas de la méthode différentielle

La Figure 25 représente les horloges utilisées pour le transport des signaux TDM dans un réseau par paquets.

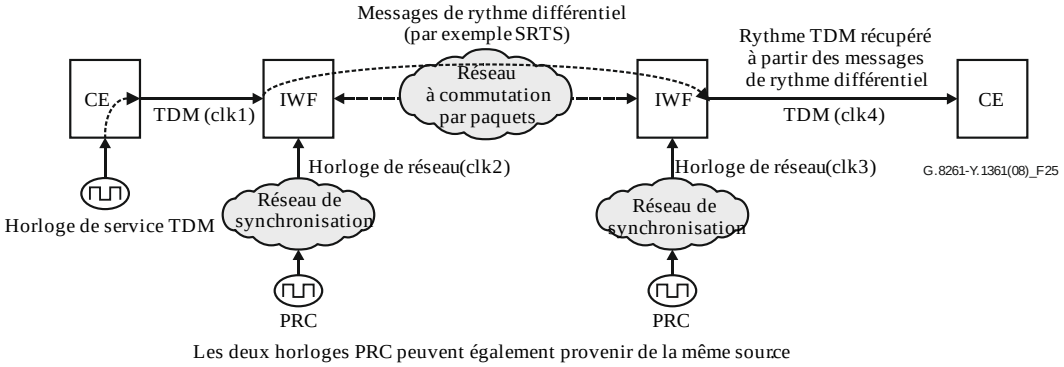


Figure 25 – Horloges utilisées pour le transport des signaux TDM dans un réseau par paquets dans le cas de la méthode différentielle

Les horloges sont les suivantes:

– L'horloge à l'origine du signal TDM, PDH ou SDH (clk1 dans la figure).

  Il peut s'agir d'une horloge plésiochrone, bien qu'on estime qu'à présent, la plupart des signaux sont synchrones.

– L'horloge de réseau servant à produire des messages de rythme différentiel (clk2 dans la figure).

– L'horloge de réseau (clk3 dans la figure) servant à reproduire l'horloge TDM (clk4 dans la figure) à partir des messages de rythme différentiel.

Tout bruit de phase sur ces horloges entraînera un bruit de phase sur le rythme du signal de sortie TDM.

Pour obtenir un rythme correct dans le signal de sortie TDM, l'horloge qui produit les signaux TDM (c'est-à-dire clk1) et l'horloge qui ajuste le rythme de ces signaux (c'est-à-dire clk4) doivent avoir la même fréquence à long terme (ou dans les limites PRC), faute de quoi on constatera un taux de glissement inacceptable (le bruit à court terme doit être maintenu dans les limites applicables).

En fonctionnement normal, l'horloge de réseau qui produit les messages de rythme différentiel et l'horloge de réseau qui reproduit l'horloge TDM (clk2 et clk3 dans la figure) sont verrouillées sur un signal de rythme de référence rattachable à une horloge PRC. Toutefois, en présence de défaillances du réseau de synchronisation, ces horloges peuvent être verrouillées sur un signal de rythme de référence rattachable à une horloge fonctionnant en mode maintien. Pendant ces défaillances, ces horloges devraient fonctionner suivant un mode maintien approprié, fondé sur les objectifs en termes de taux de glissement définis par la Recommandation [UIT-T G.822].

L'horloge qui assume cette fonction de maintien pendant les défaillances du réseau de synchronisation peut être soit intégrée à la fonction IWF proprement dite, soit disponible sur le site (par exemple, en étant intégrée à un élément du réseau de transmission ou à un équipement SASE). Il incombe au planificateur du réseau de mettre en place la solution la plus indiquée.

Afin de détecter les périodes de perte de synchronisation, il faut mettre en place un certain type de contrôle de la rattachabilité (par exemple, SSM).

12 Résultats et conséquences des différentes méthodes de synchronisation dans les modèles de référence de réseau par paquets

Les recommandations quant à la méthodologie de distribution des références de synchronisation (domaine PNT) et de récupération du rythme d'un service TDM (domaine CES) diffèrent selon les scénarios de réseau et les exigences de synchronisation relatives à l'application considérée.

12.1 Recommandations dans le domaine CES

Les scénarios suivants ont été identifiés dans le domaine d'application de la présente Recommandation (en ce qui concerne les modèles de réseau du paragraphe 9.1).

12.1.1 Recommandation concernant la récupération de rythme d'un service TDM (cas 1 de déploiement)

Les limites dans le réseau pour les signaux PDH dans ce cas sont définies au paragraphe 9.1 (cas 1 de déploiement).

La récupération du rythme des signaux PDH acheminés via un réseau par paquets peut s'effectuer par les méthodes suivantes:

– Fonctionnement synchrone au niveau du réseau lorsqu'un signal rattachable à une horloge PRC est disponible au niveau des fonctions IWF et que la préservation de l'horloge de service n'est pas requise.

– Méthodes différentielles lorsqu'un signal de référence rattachable à une horloge PRC est disponible au niveau de la fonction IWF. Ces méthodes permettent de préserver l'horloge de service.

– Méthodes adaptatives lorsque la variation du temps de transfert dans le réseau peut être régulée. Ces méthodes permettent de préserver l'horloge de service.

NOTE – Dans ces scénarios, les limites dans le réseau sont relativement strictes. Toutefois, on suppose que lorsque le réseau peut être modélisé suivant le modèle A (au moins les scénarios 2 et 3, voir l'Appendice V), les méthodes adaptatives devraient permettre de respecter les limites dans le réseau définies au paragraphe 9.1.

La possibilité éventuelle d'utiliser la méthode adaptative dans un réseau qui peut être modélisé par le modèle B doit faire l'objet d'un complément d'étude (voir l'Appendice V).

Le transport des signaux SDH dans ce scénario doit faire l'objet d'un complément d'étude. Il convient de noter que la récupération d'horloge pour les signaux SDH doit respecter le niveau de qualité correspondant aux interfaces de synchronisation spécifiées dans la Recommandation [UIT-T G.823] pour les réseaux fondés sur la hiérarchie à 2 048 kbit/s et dans la Recommandation [UIT-T G.824] pour les réseaux fondés sur la hiérarchie à 1 544 kbit/s. Le recours aux méthodes décrites au paragraphe 7.1 pour prendre en charge un fonctionnement synchrone au niveau du réseau permet de garantir le respect de ces exigences.

12.1.2 Recommandation concernant la récupération de rythme d'un service TDM (cas 3 de déploiement)

Les limites dans le réseau pour les signaux PDH dans ce cas sont définies au paragraphe 9.1 (cas 3 de déploiement).

La récupération du rythme des signaux PDH acheminés via un réseau par paquets peut s'effectuer par les méthodes suivantes:

– Fonctionnement synchrone au niveau du réseau lorsqu'un signal rattachable à une horloge PRC est disponible au niveau des fonctions IWF et que la préservation de l'horloge de service n'est pas requise.

– Méthodes différentielles lorsqu'un signal de référence rattachable à une horloge PRC est disponible au niveau de la fonction IWF. Ces méthodes permettent de préserver l'horloge de service.

– Méthodes adaptatives lorsque la variation du temps de transfert dans le réseau peut être régulée. Ces méthodes permettent de préserver l'horloge de service.

NOTE – Dans ces scénarios, les limites dans le réseau sont moins strictes que dans les scénarios du paragraphe 12.1.1. On suppose que, lorsque le réseau peut être modélisé par le modèle A, les méthodes adaptatives devraient permettre de respecter les limites dans le réseau définies au paragraphe 9.1.

La possibilité éventuelle d'utiliser la méthode adaptative dans un réseau qui peut être modélisé par le modèle B doit faire l'objet d'un complément d'étude.

Le transport des signaux SDH dans ce scénario doit faire l'objet d'un complément d'étude. Il convient de noter que la récupération d'horloge pour les signaux SDH doit respecter le niveau de qualité correspondant aux interfaces de synchronisation spécifiées dans la Recommandation [UIT-T G.823] pour les réseaux fondés sur la hiérarchie à 2 048 kbit/s et dans la Recommandation [UIT-T G.824] pour les réseaux fondés sur la hiérarchie à 1 544 kbit/s. Le recours aux méthodes décrites au paragraphe 7.1 pour prendre en charge un fonctionnement synchrone au niveau du réseau permet de garantir le respect de ces exigences.

12.1.3 Recommandation concernant la récupération de rythme d'un service TDM (cas 2 de déploiement, application A)

Les limites dans le réseau pour les signaux PDH dans ce cas sont définies au paragraphe 9.1 (cas 2 de déploiement, application A).

La récupération du rythme des signaux PDH acheminés via un réseau par paquets peut s'effectuer par les méthodes suivantes:

– Fonctionnement synchrone au niveau du réseau lorsqu'un signal rattachable à une horloge PRC est disponible au niveau des fonctions IWF et que la préservation de l'horloge de service n'est pas requise.

– Méthodes différentielles lorsqu'un signal de référence rattachable à une horloge PRC est disponible au niveau de la fonction IWF. Ces méthodes permettent de préserver l'horloge de service.

– Méthodes adaptatives lorsque la variation du temps de transfert dans le réseau peut être régulée. Ces méthodes permettent de préserver l'horloge de service.

NOTE – Dans ces scénarios, les limites dans le réseau sont moins strictes que dans les scénarios du paragraphe 12.1.1. On suppose que, lorsque le réseau peut être modélisé par le modèle A, les méthodes adaptatives devraient permettre de respecter les limites dans le réseau définies au paragraphe 9.1.

La possibilité éventuelle d'utiliser la méthode adaptative dans un réseau qui peut être modélisé par le modèle B doit faire l'objet d'un complément d'étude.

Le transport des signaux SDH dans ce scénario doit faire l'objet d'un complément d'étude. Il convient de noter que la récupération d'horloge pour les signaux SDH doit respecter le niveau de qualité correspondant aux interfaces de synchronisation spécifiées dans la Recommandation [UIT-T G.823] pour les réseaux fondés sur la hiérarchie à 2 048 kbit/s et dans la Recommandation [UIT-T G.824] pour les réseaux fondés sur la hiérarchie à 1 544 kbit/s. Le recours aux méthodes décrites au paragraphe 7.1 pour prendre en charge un fonctionnement synchrone au niveau du réseau permet de garantir le respect de ces exigences.

12.1.4 Recommandation concernant la récupération de rythme d'un service TDM (cas 2 de déploiement, application B)

Les limites dans le réseau pour les signaux PDH dans ce cas sont définies au paragraphe 9.1 (cas 2 de déploiement, application B).

La récupération du rythme des signaux PDH acheminés via un réseau par paquets peut s'effectuer par les méthodes suivantes:

– Fonctionnement synchrone au niveau du réseau lorsqu'un signal rattachable à une horloge PRC est disponible au niveau des fonctions IWF et que la préservation de l'horloge de service n'est pas requise.

– Méthodes différentielles lorsqu'un signal de référence rattachable à une horloge PRC est disponible au niveau de la fonction IWF. Ces méthodes permettent de préserver l'horloge de service.

– Méthodes adaptatives lorsque la variation du temps de transfert dans le réseau peut être régulée. Ces méthodes permettent de préserver l'horloge de service.

NOTE – Dans ces scénarios, les limites dans le réseau dépendent des caractéristiques de l'équipement d'extrémité, qui normalement est capable de tolérer les limites aux interfaces de trafic définies dans les Recommandations [UIT-T G.823] et [UIT-T G.824]. On suppose que, lorsque le réseau peut être modélisé par le modèle A, les méthodes adaptatives devraient permettre de respecter les limites définies dans l'une ou l'autre de ces Recommandations, selon le cas.

La possibilité éventuelle d'utiliser la méthode adaptative dans un réseau qui peut être modélisé par le modèle B doit faire l'objet d'un complément d'étude.

Le transport des signaux SDH dans ce scénario doit faire l'objet d'un complément d'étude. Il convient de noter que la récupération d'horloge pour les signaux SDH doit respecter le niveau de qualité correspondant aux interfaces de synchronisation spécifiées dans la Recommandation [UIT-T G.823] pour les réseaux fondés sur la hiérarchie à 2 048 kbit/s et dans la Recommandation [UIT-T G.824] pour les réseaux fondés sur la hiérarchie à 1 544 kbit/s. Le recours aux méthodes décrites au paragraphe 7.1 pour prendre en charge un fonctionnement synchrone au niveau du réseau permet de garantir le respect de ces exigences.

12.2 Recommandations dans le domaine PNT

Les scénarios suivants ont été identifiés dans le domaine d'application de la présente Recommandation (en ce qui concerne les modèles de réseau du paragraphe 9.2).

12.2.1 Recommandations pour la distribution de signaux de rythme de référence au moyen de l'Ethernet synchrone

Les limites dans le réseau pour les signaux de rythme de référence dans ce cas sont définies au paragraphe 9.2.

Le déploiement de réseaux de synchronisation sur la couche physique au moyen d'une technique de couche 1, telle que l'Ethernet synchrone décrit au paragraphe 7.1.1, permet de disposer d'une méthode de transport des signaux de synchronisation qui n'est soumise à aucune contrainte liée au mode paquet (c'est-à-dire aucune incidence liée à la variation du temps de transfert des paquets).

Les limites dans le réseau définies au paragraphe 9.2 sont respectées à condition que la conception du réseau de synchronisation suive les mêmes règles que celles qui ont déjà été définies pour les réseaux de synchronisation fondés sur la hiérarchie SDH, c'est-à-dire qu'elle soit conforme à la chaîne de référence du réseau de synchronisation de la Recommandation [UIT-T G.803]; voir les Figure 8-1 et 8-2 de la Recommandation [UIT-T G.803], où l'horloge EEC [UIT-T G.8262] doit remplacer l'horloge SEC. En particulier, sur la base de ce modèle, la plus longue chaîne de référence du réseau de synchronisation ne devrait pas contenir plus de 10 unités de synchronisation (SSU) et 60 horloges EEC (option 1) et, entre deux unités SSU quelconques, le nombre d'horloges EEC ne devrait pas dépasser 20.

NOTE 1 – Les valeurs pour les horloges de l'option 2 doivent faire l'objet d'un complément d'étude.

NOTE 2 – L'emploi d'une telle technique exige que tous les éléments de réseau dans la chaîne de synchronisation entre l'horloge primaire de référence et l'élément de réseau qui doit être synchronisé (par exemple, une station de base) prennent en charge l'Ethernet synchrone

Il est à noter que l'acheminement du signal de synchronisation au niveau de la couche 1 est possible à l'intérieur du domaine d'un opérateur de réseau. L'interfonctionnement entre les domaines de différents opérateurs de réseau doit faire l'objet d'un complément d'étude.

12.2.2 Recommandations pour la distribution de signaux de rythme de référence au moyen de paquets

La Recommandation [UIT-T G.8265] décrit l'architecture générale de la distribution de fréquence à l'aide de méthodes fondées sur les paquets.

Les méthodes fondées sur les paquets sont basées sur des méthodes adaptatives de récupération de l'horloge, et les performances dépendent donc généralement de la variation du temps de transfert des paquets dans le réseau (voir le paragraphe 10).

C'est pourquoi, lorsqu'on emploie ces techniques, il est préférable d'acheminer le rythme sur un réseau bien conçu, le flux de rythme étant acheminé dans un canal dans lequel les dégradations liées au

réseau par paquets sont réduites au minimum. Le processus peut notamment consister à attribuer la plus haute priorité à un tel flux.

Il convient de noter que, du fait de la transmission partagée, tous les flux interfèrent dans une certaine mesure les uns avec les autres, indépendamment de la priorité concernant le rythme.

Des études sont en cours pour déterminer ce qui constitue un réseau bien conçu pour le transport du rythme. En particulier, dans le cadre de cette étude, certains indicateurs sont pris en considération. Ils doivent être basés sur l'ensemble des temps de transfert et des variations des temps de transfert des paquets.

NOTE 1 – Les termes temps de transfert des paquets et variation du temps de transfert des paquets employés dans la présente Recommandation ont le sens donné dans la Recommandation [UIT-T G.8260].

Les caractéristiques de l'oscillateur mis en oeuvre dans l'équipement d'extrémité comptent parmi les facteurs essentiels en ce qui concerne les performances qui peuvent être atteintes. Par conséquent, ces caractéristiques doivent dépendre des exigences devant être satisfaites par le signal de rythme récupéré et du niveau du bruit (variation du temps de transfert des paquets) produit par le réseau.

La spécification des horloges à mettre en oeuvre dans la fonction de récupération d'horloge pour les méthodes fondées sur les paquets n'entre pas dans le cadre de la présente Recommandation.

Le format concret des paquets n'influe pas beaucoup sur la performance des méthodes fondées sur les paquets. Toutefois, le format des données des horodates devra avoir une longueur et des caractéristiques de base appropriées (PTP et NTP sont deux exemples de format d'horodate).

NOTE 2 – Des méthodes faisant appel aux noeuds du réseau par paquets pour réduire l'impact des variations du temps de transfert des paquets (par exemple, des moyens permettant de mesurer les variations du temps de transfert des paquets qui ont été ajoutées par chaque noeud du réseau par paquets) sont à l'étude (par exemple, dans le cadre des études sur les profils des télécommunications [b-IEEE 1588]). Les aspects architecturaux, l'évolutivité, les exigences relatives aux horloges, etc., font partie des aspects à étudier.

NOTE 3 – Pour ce type d'approche, il est nécessaire de mettre en oeuvre un matériel d'appui dans les équipements de réseau situés sur le trajet de synchronisation.

12.2.2.1 Recommandations concernant le cas 1 de déploiement

Les limites dans le réseau pour les signaux de rythme de référence dans ce cas sont définies au paragraphe 9.2.2 (cas 1 de déploiement).

Les exigences dans ce cas sont exprimées sous la forme d'un niveau de bruit (gigue et dérapage) très faible pouvant être produit dans le réseau.

Dans ce cas, les méthodes fondées sur les paquets ne peuvent convenir que si le réseau produit un faible niveau de variation du temps de transfert concernant les paquets retenus par l'algorithme de récupération du rythme.

Les caractéristiques d'horloge, les indicateurs et les limites associées permettant de respecter les limites dans le réseau pour le cas 1 de déploiement sont à l'étude.

12.2.2.2 Recommandations concernant le cas 2 de déploiement

Les limites dans le réseau pour les signaux de rythme de référence dans ce cas sont définies au paragraphe 9.2.2 (cas 2 de déploiement).

Dans ce cas, le niveau de bruit pouvant être produit dépend de la tolérance de l'équipement d'extrémité.

A titre d'exemple, le dérapage type qui est toléré par les équipements d'extrémité peut être exprimé sur la base des gabarits de trafic [UIT-T G.823] et [UIT-T G.824]. La Recommandation [UIT-T G.8261.1] définit les conditions dans lesquelles un réseau par paquets convient pour la prise en charge des méthodes fondées sur les paquets, et la Recommandation [UIT-T G.8263] spécifie les caractéristiques d'horloge associées.

On trouvera des informations complémentaires dans l'Appendice III.

Annexe A

Architecture de réseau proposée pour l'Ethernet synchrone

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

A.1 Emplacement des horloges PRC

Dans une architecture Ethernet synchrone type, il existe trois emplacements possibles des horloges PRC, suivant l'architecture globale que l'opérateur de réseau souhaite adopter. On définit alors trois emplacements génériques.

Comme indiqué sur la Figure A.1, ce sont:

– Cas A, emplacement dans le réseau central – Les horloges PRC se trouvent dans le réseau central (emplacement "A" sur la Figure A.1). Dans ce cas, les noeuds PRC sont peu nombreux. Les horloges PRC sont centralisées, une certaine distribution étant assurée vers les fonctions IWF.

– Cas B, emplacement dans le réseau d'accès – Les horloges PRC se trouvent un peu moins loin dans le réseau (elles sont géographiquement distinctes de la fonction IWF), généralement au niveau des points d'accès multiservices (emplacement "B" sur la Figure A.1). Dans ce cas, le nombre de noeuds PRC est plus grand que ce qui est requis dans le cas A. Les horloges PRC sont centralisées, une certaine distribution étant assurée vers les fonctions IWF.

– Cas C, emplacement dans les fonctions IWF – Les horloges PRC se trouvent géographiquement au même endroit que les fonctions IWF et il y a une connexion de synchronisation directe avec ces fonctions (emplacement "C" sur la Figure A.1). Dans ce cas, les noeuds PRC sont nombreux, à savoir une horloge PRC par fonction IWF.

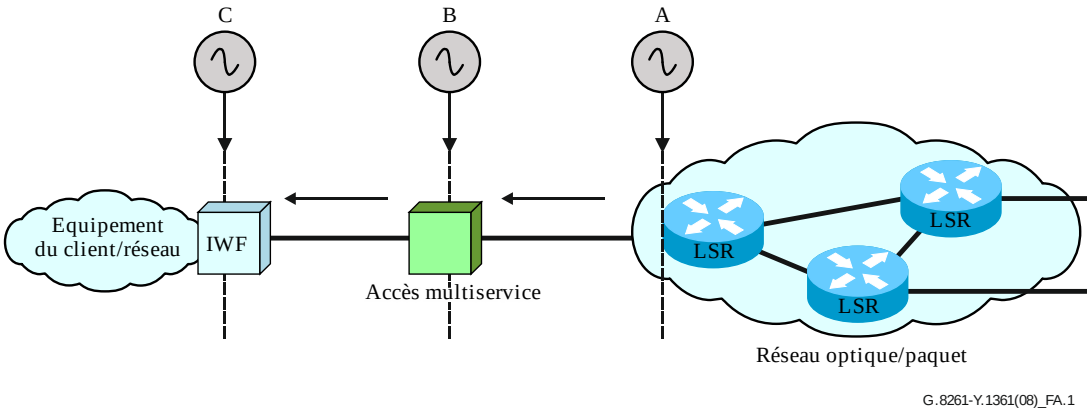


Figure A.1 – Emplacement des horloges de référence

D'après la figure ci-dessus, le flux de synchronisation va du réseau central vers la fonction IWF. Il n'est pas prévu de distribuer le rythme de l'équipement du client (CE) vers le réseau central.

A.2 Limitation de la gigue et du dérapage pour l'Ethernet synchrone

Pour pouvoir respecter les limites dans le réseau, il est nécessaire de limiter la production de gigue et de dérapage pour une solution Ethernet synchrone dans un environnement de réseau étendu.

La fonction de synchronisation présente dans le commutateur Ethernet prenant en charge l'Ethernet synchrone doit être fondée sur les caractéristiques de fonctionnement d'une horloge intégrée. Pour garantir un fonctionnement satisfaisant du réseau, une telle horloge doit être conforme à la Recommandation [UIT-T G.8262] lorsqu'elle est synchronisée à partir d'une autre horloge Ethernet synchrone analogue ou à partir d'une horloge de qualité supérieure. L'utilisation d'une telle horloge

de réseau permet de garantir un interfonctionnement correct sur le plan de la synchronisation lorsque cette solution Ethernet synchrone est combinée avec l'unité SSU ou l'équipement SASE définis dans la Recommandation [UIT-T G.812] ainsi que, par conséquent, avec une horloge PRC définie dans la Recommandation [UIT-T G.811], comme spécifié dans les modes de fonctionnement avec synchronisation de type commande-asservissement. Elle permet aussi d'assurer un interfonctionnement entre les réseaux TDM existants et les nouvelles architectures de réseau par paquets.

Il convient par ailleurs de signaler que cette description n'a aucune incidence sur les spécifications [IEEE 802.3] existantes concernant la tolérance de fréquence, etc., mais qu'elle se rapporte à la nouvelle fonctionnalité d'horloge d'élément de réseau.

A.3 Considérations relatives à la conception d'un réseau de synchronisation basé sur l'Ethernet synchrone

Une bonne conception du réseau de synchronisation est indispensable pour garantir qu'un signal de rythme de référence sera distribué avec qualité et une fiabilité satisfaisantes.

Ceci s'applique aussi lorsque le réseau de synchronisation est basé sur l'Ethernet synchrone.

En particulier, comme l'architecture des réseaux de synchronisation basés sur l'Ethernet synchrone peut être plus complexe que celle des réseaux de synchronisation basés sur la hiérarchie SDH (en raison par exemple de la structure maillée, ou de la mise en oeuvre éventuelle d'équipements ne prenant pas en charge l'Ethernet synchrone), les activités de planification de la synchronisation n'en sont que plus importantes.

Lors de la conception, il convient notamment d'analyser tous les éléments de réseau situés sur le chemin de synchronisation.

Ces éléments doivent mettre en oeuvre une horloge EEC ou (dans le cas d'éléments de réseau simples tels qu'un dispositif à deux ports) au moins une fonction de transfert du rythme, d'une manière qui est semblable à celle employée pour les régénérateurs SDH.

La fonction de transfert du rythme pour les équipements Ethernet synchrone doit faire l'objet d'un complément d'étude.

NOTE 1 – Les caractéristiques des horloges mises en oeuvre dans les équipements déployés à la fin de la chaîne de synchronisation dépendent de l'application spécifique employée dans les équipements d'extrémité. Les caractéristiques de ces horloges peuvent s'écarter de certaines des spécifications applicables aux horloges EEC. Un complément d'étude est nécessaire à ce sujet.

Un autre aspect important à prendre en compte est lié au traitement approprié des messages SSM dans la chaîne de synchronisation.

Les messages d'état de synchronisation (SSM) offrent un mécanisme permettant aux horloges EEC en aval de déterminer comment se fait la distribution de la synchronisation depuis l'horloge PRC ou depuis l'horloge de qualité la plus élevée disponible. La fonction de synchronisation traite les messages SSM.

En cas de défaillance du réseau en amont, la fonction de synchronisation prend les mesures appropriées en se fondant sur les messages SSM et sur les priorités fixées d'avance et choisit une autre source de synchronisation. Il peut s'agir d'une autre source dans le réseau ou d'une source extérieure.

Dans les réseaux Ethernet synchrone, l'objectif principal concernant les messages SSM est qu'ils soient pris en charge dans la conception des réseaux de synchronisation afin de pouvoir traiter correctement les cas de défaillance.

NOTE 2 – Les messages SSM peuvent aider à éviter les boucles de rythme, même si une planification appropriée est obligatoire pour éviter celles-ci.

Dans les réseaux Ethernet synchrone, il peut arriver que les messages SSM ne permettent pas de déterminer si une liaison provient d'un équipement (ou d'une liaison) ne prenant pas en charge l'Ethernet synchrone (et qui pourrait, par exemple, avoir été inséré par erreur dans un chemin de synchronisation). Comme nous l'avons déjà mentionné, ce type de situation sera évité moyennant une bonne conception du réseau de synchronisation.

La définition dans l'avenir de fonctions SSM plus évoluées (par exemple pour transporter des informations sur la totalité du trajet de synchronisation) pourra apporter des avantages importants.

Lors de la conception d'un réseau de synchronisation, il convient de garantir que les messages SSM seront traités dans tous les éléments de réseau qui pourraient altérer le flux de rythme (en raison par exemple d'une horloge interne passant en mode maintien).

Il convient par ailleurs d'éviter une distribution du rythme de bonne qualité, mais sans prise en charge des messages SSM.

Le processus de sélection dans l'équipement de réception du signal de rythme de référence peut être configuré de manière à employer ou pas les messages SSM entrants.

On trouvera plus de détails sur les messages SSM pour l'Ethernet synchrone dans la Recommandation [UIT-T G.8264].

NOTE 3 – Outre les messages SSM, la Recommandation [b-UIT-T G.781] traite de certaines dégradations, comme la perte de signal, qui peut entraîner une disqualification des références de rythme.

A.4 Exemple de distribution du rythme via l'Ethernet synchrone

La Figure A.2 montre un exemple de distribution du rythme sur l'Ethernet synchrone. Le rythme est distribué de l'horloge PRC aux fonctions IWF via le réseau à commutation par paquets.

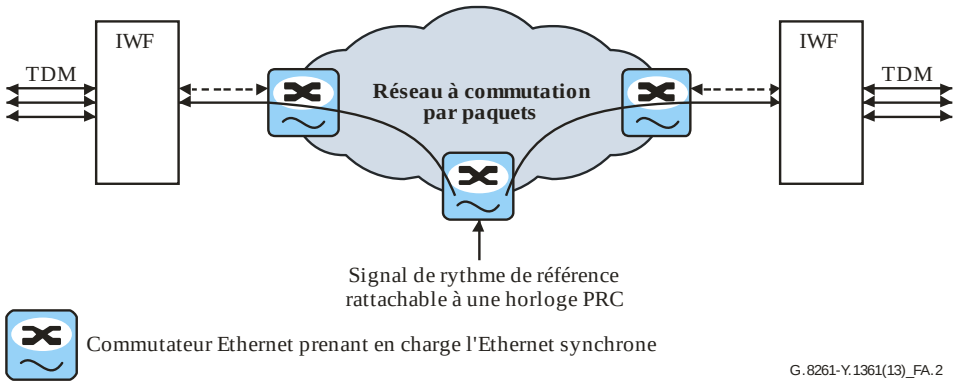


Figure A.2 – Exemple de distribution du rythme via l'Ethernet synchrone

A.5 Interfonctionnement d'interfaces Ethernet et Ethernet synchrone

A.5.1 Définition des types d'interface et des modes de fonctionnement

Les interfaces Ethernet conformes à la norme [IEEE 802] ne sont pas synchrones. Avec l'introduction de l'Ethernet synchrone, il faut faire une distinction entre les différents types de ports Ethernet et les différents modes de fonctionnement associés concernant la synchronisation.

On définit les modes suivants (voir la Recommandation [UIT-T G.8264]):

– mode de fonctionnement non synchrone;

– mode de fonctionnement synchrone.

Pour une interface Ethernet synchrone, le mode par défaut est le mode de fonctionnement non synchrone.

Voir le Tableau A.1.

Tableau A.1 – Définition des types d'interface et des modes de fonctionnement

Type d'interface	Mode de fonctionnement	Processus QL	Processus ESMC
Ethernet	Mode non synchrone	Non	Non
Ethernet synchrone	Mode non synchrone	Non	Non
	Mode synchrone (mode QL activé)	Actif, toutes les valeurs	Oui
	Mode synchrone (mode QL désactivé)	Inactif	Facultatif

Outre un port Ethernet synchrone capable à la fois d'émettre et de recevoir des signaux de rythme, il est possible d'envisager des ports avec une fonction Ethernet synchrone réduite. Par fonctionnalité Ethernet synchrone réduite, on entend la capacité de prendre en charge la synchronisation dans un seul sens. Il existe deux types possibles d'interfaces Ethernet synchrone réduites:

1) Port Ethernet synchrone à l'émission uniquement: ce type de port exécute toutes les fonctions Ethernet synchrone à l'émission, autrement dit, il émet les messages de niveau de qualité (QL) sur le canal des messages de synchronisation Ethernet (ESMC) et émet les signaux de l'horloge EEC physique sur la ligne Ethernet.

2) Port Ethernet synchrone à la réception uniquement: ce type de port exécute toutes les fonctions Ethernet synchrone à la réception, autrement dit, il reçoit les messages QL sur le canal ESMC et les traite et il récupère les signaux de l'horloge physique sur la ligne Ethernet, qui peuvent ainsi être utilisés pour la synchronisation.

Le recours à des noeuds ayant une fonctionnalité Ethernet synchrone réduite doit être examiné avec soin lors de la planification du réseau de synchronisation. Ce type de noeud sera en principe utilisé à la fin d'une chaîne de synchronisation.

Tableau A.1a – Fonctionnalité Ethernet synchrone réduite avec QL activé

Type d'interface	Mode de fonctionnement	Processus QL	Processus ESMC
Fonctionnalité Ethernet synchrone réduite (QL activé)	Mode synchrone (émission uniquement)	Actif (côté émission uniquement)	Côté émission: oui Côté réception: facultatif
	Mode synchrone (réception uniquement)	Actif (côté réception uniquement)	Côté réception: oui Côté émission: facultatif

Tableau A.1b – Fonctionnalité Ethernet synchrone réduite avec QL désactivé

Type d'interface	Mode de fonctionnement	Processus QL	Processus ESMC
Fonctionnalité Ethernet synchrone réduite (QL désactivé)	Mode synchrone (émission uniquement)	Inactif	Facultatif
	Mode synchrone (réception uniquement)	Inactif	Facultatif

A.5.2 Conditions requises pour l'interfonctionnement

Le Tableau A.2 présente les conditions requises pour l'interfonctionnement entre les différents types d'interface et modes de fonctionnement. Toute combinaison doit permettre d'assurer une bonne transmission du trafic Ethernet. Pour pouvoir utiliser l'Ethernet synchrone pour la synchronisation du

réseau, des ports Ethernet synchrone en mode synchrone sont nécessaires aux deux extrémités de chaque liaison de synchronisation située sur le trajet de synchronisation.

Tableau A.2 – Interfonctionnement entre des ports Ethernet synchrone et Ethernet

		Interfonctionnement au niveau du trafic avec			**Interfonctionnement au niveau de la synchronisation du réseau avec**		
Type d'interface		**Ethernet**	**Ethernet synchrone**		**Ethernet**	**Ethernet synchrone**	
	Mode de fonctionnement	Mode non synchrone		Mode synchrone	Mode non synchrone		Mode synchrone
Ethernet	Mode non synchrone	✓	✓	✓	×	×	×
Ethernet synchrone	Mode non synchrone	✓	✓	✓	×	×	×
Ethernet synchrone	Mode synchrone	✓	✓	✓	×	×	✓
✓ Interfonctionnement possible × Interfonctionnement impossible							

A.5.3 Interfonctionnement en termes de fréquence

L'Ethernet fonctionne avec un décalage de fréquence maximal de ±100 millionièmes.

L'Ethernet synchrone en mode synchronisation utilise la synchronisation de réseau découlant de l'horloge PRC. Le cas le plus défavorable correspond au maintien avec un décalage de fréquence maximal de ±4,6 millionièmes.

Pour la récupération des données, la tolérance de fréquence à l'entrée pour l'Internet synchrone doit être de ±100 millionièmes.

Le Tableau A.3 présente les conditions requises pour l'interfonctionnement en termes de fréquence.

Tableau A.3 – Interfonctionnement en termes de fréquences

Type d'interface	**Mode de fonction-nement**	**Fréquence**		
		Ecart de fréquence maximal à la sortie	**Tolérance à l'entrée**	
			Pour la récupération des données	**Pour la récupération du signal d'horloge**
Ethernet	Mode non synchrone	±100 millionièmes	±100 millionièmes	Sans objet
Ethernet synchrone		Il pourrait être verrouillé sur l'horloge EEC ou, dans le cas contraire, être au plus de ±100 millionièmes		
Ethernet synchrone	Mode synchrone (Note)	Verrouillé sur l'horloge EEC (dans le cas le plus défavorable ±4,6 millionièmes)		Max. ±4,6 millionièmes
NOTE – Pour les modes QL activé et QL désactivé.				

A.5.4 Interfonctionnement en termes de bruit

Pour l'Ethernet, la gigue est spécifiée par l'IEEE. Le dérapage ne pose pas de problème pour le trafic Ethernet.

Pour les interfaces synchrones, la gigue et le dérapage sont spécifiés par l'UIT-T. Pour les interfaces Ethernet synchrone en mode de fonctionnement synchrone, les conditions requises applicables sont spécifiées dans les Recommandations [UIT-T G.8261] et [UIT-T G.8262].

Pour la récupération des données, une interface Ethernet synchrone doit pouvoir tolérer la gigue émanant des interfaces Ethernet.

Voir le Tableau A.4 pour plus de détails.

Tableau A.4 – Interfonctionnement en termes de bruit

<table>
<tr><th rowspan="4">Type d'interface</th><th rowspan="4">Mode de fonctionnement</th><th colspan="4">Bruit</th></tr>
<tr><th colspan="2">Génération de bruit maximale à la sortie</th><th colspan="2">Tolérance de bruit à l'entrée de l'équipement</th></tr>
<tr><th rowspan="2">Gigue</th><th rowspan="2">Dérapage</th><th colspan="2">Pour la récupération des données</th><th colspan="2">Pour la récupération du signal d'horloge</th></tr>
<tr><th>Gigue</th><th>Dérapage</th><th>Gigue</th><th>Dérapage</th></tr>
<tr><td>Ethernet</td><td rowspan="2">Mode non synchrone</td><td rowspan="2">Conformé-ment aux normes IEEE</td><td rowspan="2">Sans objet</td><td rowspan="3">Conformé-ment aux normes IEEE</td><td rowspan="3">Sans objet</td><td rowspan="2">Sans objet</td><td rowspan="2">Sans objet</td></tr>
<tr><td>Ethernet synchrone</td></tr>
<tr><td>Ethernet synchrone</td><td>Mode synchrone</td><td colspan="2">Conformément aux Rec. G.8261 (réseau) et G.8262 (équipement)</td><td colspan="2">Conformément à la Rec. G.8262</td></tr>
</table>

A.5.5 Mesure associée de la gigue

Pour les mesures de la gigue aux ports Ethernet, on se reportera aux normes IEEE. La méthode IEEE de mesure de la gigue repose sur un oeil sous contrainte et un diagramme en auge. Concernant l'interfonctionnement pour la récupération des données, les mesures aux interfaces Ethernet synchrone doivent être effectuées de la même façon.

Concernant l'interfonctionnement pour la synchronisation des interfaces Ethernet synchrone en mode de fonctionnement synchrone, les spécifications relatives à la gigue figurent dans les Recommandations [UIT-T G.8261] et [UIT-T G.8262].

Les mesures de la gigue pour les interfaces Ethernet synchrone en mode de fonctionnement synchrone doivent faire l'objet d'un complément d'étude. Voir l'Appendice X.

Le Tableau A.5 présente un récapitulatif.

Tableau A.5 – Mesure de la gigue

Type d'interface	Mode de fonction-nement	Tolérance de gigue à l'entrée	Génération de bruit dû à la gigue	Transfert de bruit dû à la gigue	Limites dans le réseau
Ethernet	Mode non synchrone	Conformément aux normes IEEE	Conformément aux normes IEEE	Sans objet	Sans objet
Ethernet synchrone					
Ethernet synchrone	Mode synchrone	Pour étude ultérieure, voir l'Appendice X concernant les mesures de la gigue			

A.5.6 Mesure associée du dérapage

Aune condition requise pour le dérapage n'est spécifiée pour les interfaces Ethernet.

Les mesures du dérapage pour les interfaces Ethernet synchrone en mode de fonctionnement synchrone doivent faire l'objet d'un complément d'étude. Voir l'Appendice X.

Voir le Tableau A.6 pour plus de détails.

Tableau A.6 – Mesure du dérapage

Type d'interface	Mode de fonction-nement	Tolérance de dérapage à l'entrée	Génération de bruit dû au dérapage	Transfert de bruit dû au dérapage	Limites dans le réseau
Ethernet	Mode non synchrone	Sans objet			
Ethernet synchrone					
Ethernet synchrone	Mode synchrone	Pour étude ultérieure, voir l'Appendice X concernant les mesures de la gigue			

NOTE – On trouvera des considérations relatives aux interfaces et aux équipements ayant des fonctionnalités Ethernet synchrone réduites dans la Recommandation [UIT-T G.8264].

Annexe B

Découpage de la fonction IWF en fonctions IWF CES et PNT et exemples dans le réseau

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

B.1 Généralités

La fonction IWF est le bloc fonctionnel qui convertit les données pour passer d'un réseau TDM à un réseau par paquets, et inversement (voir la Figure B.1).

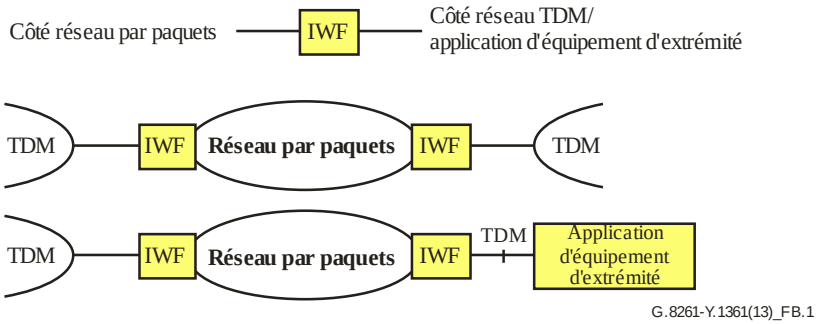


Figure B.1 – Fonction IWF dans le réseau

Dans certaines applications, la fonction IWF peut changer la couche sur laquelle le rythme est acheminé (à savoir passer des paquets à la couche physique et inversement); voir la Figure B.2.

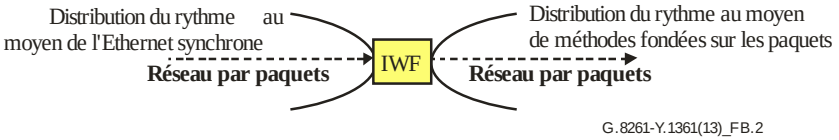


Figure B.2 – Fonction IWF changeant la couche sur laquelle le rythme est acheminé

Pour la fonction IWF, on définit une structure comportant deux domaines (voir la Figure B.3), avec une fonction "IWF CES" s'occupant des aspects de synchronisation du domaine d'horloge de service, et une fonction "IWF PNT (rythme de réseau par paquets)" s'occupant des aspects de synchronisation du domaine d'horloge de réseau de synchronisation.

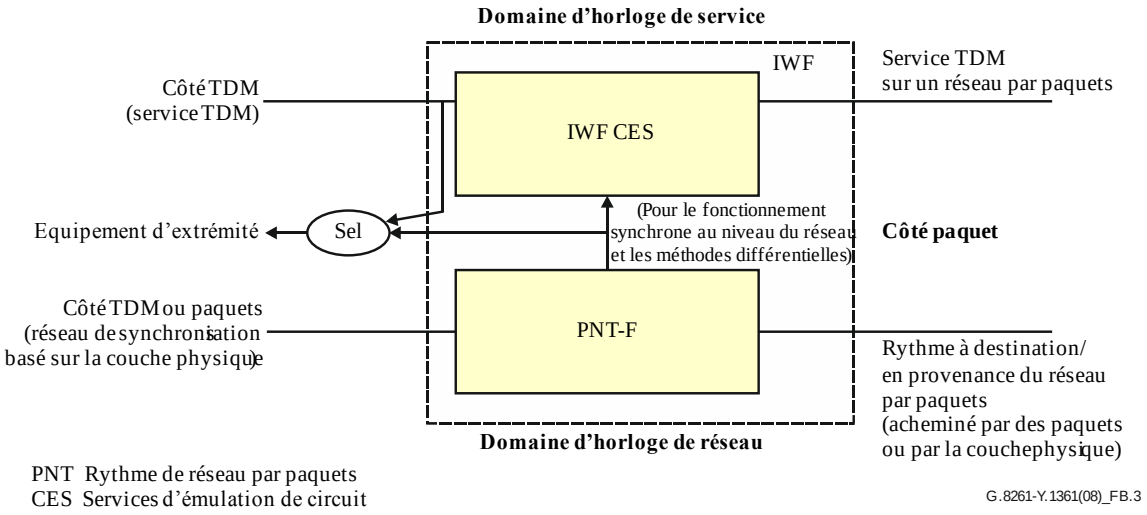


Figure B.3 – Domaines CES et PNT dans la fonction IWF

En particulier, la fonction IWF CES doit récupérer le signal de rythme des services qui sont acheminés sur le réseau par paquets (récupération du signal d'horloge de service) et prendre en charge correctement la génération des paquets CES destinés au réseau par paquets.

Comme décrit au paragraphe 8, les méthodes de fonctionnement suivantes sont possibles:

– fonctionnement synchrone au niveau du réseau;

– méthodes différentielles;

– méthodes adaptatives;

– horloge de référence disponible au niveau des systèmes d'extrémité TDM.

En fonction des méthodes applicables, il peut être nécessaire de mettre en oeuvre différents types d'horloge dans la fonction IWF CES.

Pour plus de détails, voir le paragraphe B.3.

La distribution du rythme à destination/en provenance de la fonction IWF PNT peut se faire au moyen de méthodes traditionnelles ou nouvelles. De fait, ce bloc peut récupérer le rythme du réseau de synchronisation soit en provenance du côté TDM (par exemple SDH) soit en provenance du côté paquet (par exemple Ethernet synchrone, ou nouvelles méthodes basées sur des paquets dédiés).

La liste suivante de méthodes possibles de distribution du rythme à destination/en provenance de la fonction PNT est donnée à titre d'exemple:

– référence externe dédiée (par exemple en provenance de l'équipement SASE);

– via la couche physique synchrone (par exemple SDH, Ethernet synchrone). Rythme acheminé par des paquets (par exemple [b-IEEE 1588], NTP).

Dans certains cas, la fonction IWF PNT fournira à la fonction IWF CES un signal de rythme de référence précis découlant du réseau de synchronisation. De fait, la fonction IWF CES peut avoir besoin de cette référence pour prendre en charge le mécanisme de récupération de l'horloge: c'est le cas pour le fonctionnement synchrone au niveau du réseau et pour les méthodes différentielles. On trouvera plus de précisions au paragraphe B.2.

B.2 Horloges dans les fonctions IWF

La Figure B.4 présente les horloges qui pourraient être mises en oeuvre dans la fonction IWF CES. Ce sont:

– l'horloge de service en mode paquet pour les méthodes adaptives (PSC-A): horloge qui récupère le signal d'horloge de service CES à partir des paquets de trafic conformément à une méthode adaptative;

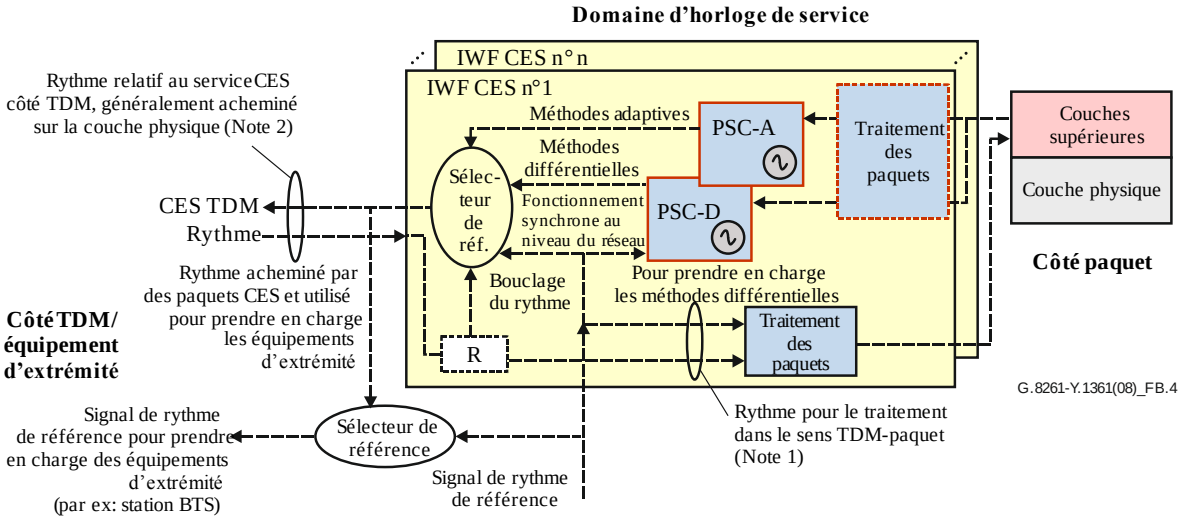
– l'horloge de service en mode paquet pour les méthodes différentielles (PSC-D): horloge qui récupère le signal d'horloge de service CES à partir des paquets de trafic conformément à une méthode différentielle.

Ce sont ces horloges qui sont utilisées pour la fonction de rythme de la fonction IWF CES (y compris pour le fonctionnement libre, le maintien, le filtrage, la sélection, etc.).

Les horloges PSC-A et PSC-D sont propres à chaque utilisateur CES (autrement dit chaque utilisateur a une horloge dédiée). Le maintien ne devrait pas être obligatoire (mais pourrait, en option, être assuré); en effet, seule une certaine précision pour le fonctionnement libre sera nécessaire pour respecter les conditions minimales applicables à la hiérarchie PDH (par exemple 50 millionièmes pour les signaux à 2 048 kbit/s). En principe, ces horloges utilisent uniquement des paquets dans un seul sens pour prendre en charge un service CES TDM.

NOTE 1 – On pourrait définir de nouveaux "services" distribuant des paquets de rythme dédiés (au moyen de protocoles dans un seul sens ou dans les deux sens) et des horloges différentes seraient définies. Un complément d'étude est nécessaire à ce sujet.

Pour plus de détails sur ces horloges, un complément d'étude est nécessaire.



N Nombre d'utilisateurs CES associés à la fonction IWF CES

NOTE 1 – Ce rythme est utilisé pour la génération des paquets sortants et sert de base à la génération des messages de rythme pour les méthodes adaptatives ou différentielles.

NOTE 2 – Certains flux CES peuvent aussi acheminer l'horloge de réseau. Dans le cas où la fonction IWF est prise en charge par le propriétaire de l'horloge de réseau, ces flux pourraient être pris en charge dans le domaine de l'horloge de réseau (par l'horloge PEC). Dans le cas où la fonction IWF appartient à un opérateur différent (offrant le service de transport à un autre opérateur), ces flux sont pris en charge comme tout autre service TDM dans le domaine de l'horloge de service (par l'horloge PSC).

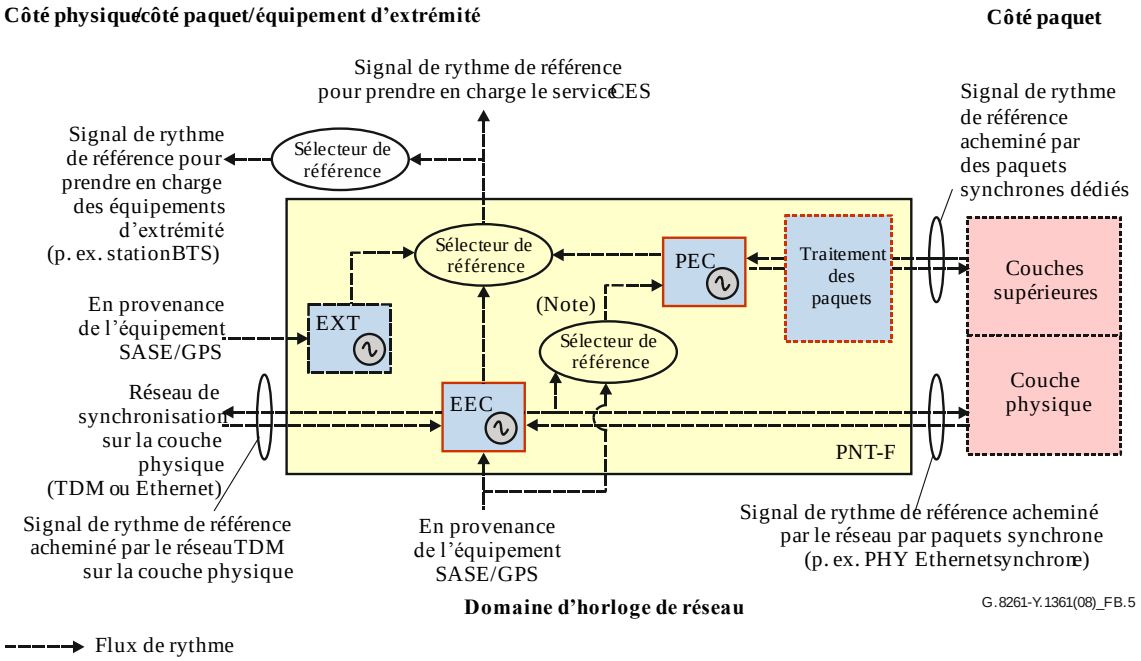
Figure B.4 – Horloges dans les fonctions IWF CES et IWF PNT

Du point de vue de la synchronisation, la fonction IWF CES côté TDM a pour principal objet de générer une couche physique synchrone conformément aux conditions définies (par exemple les limites de gigue et de dérapage), et de récupérer le rythme conformément aux gabarits applicables concernant la tolérance de gigue et de dérapage.

Concernant la fonction IWF CES côté paquet, la fonction de synchronisation s'applique aux paquets de "données d'utilisateur". Par exemple, dans le sens paquet-TDM et dans le cas de méthodes adaptatives, le rythme TDM sera récupéré par un algorithme de filtrage sur la base du temps qui sépare l'arrivée de deux paquets successifs (c'est l'horloge PSC-A qui est utilisée pour cette fonction).

Le bloc "R" dans la fonction IWF CES sert à régénérer le rythme TDM: celui-ci peut faire l'objet d'un bouclage au moyen d'une fonction de bouclage du rythme, et peut être utilisé pour commander le flux de paquets dans le sens TDM-paquet (par exemple pour générer les messages de rythme utilisés par la méthode différentielle). En particulier, le bloc "traitement des paquets" est chargé de générer les messages de rythme pour prendre en charge la méthode différentielle (l'horloge de réseau et le rythme TDM sont tous deux nécessaires à cette fin), et de générer les paquets avec un débit directement relié au rythme TDM (valable pour toutes les méthodes).

La Figure B.5 montre les horloges de la fonction PNT-F qui prennent en charge la distribution du rythme de référence sur les réseaux par paquets (voir le paragraphe 7).



NOTE –Signal de rythme de référence pour prendre en charge la génération du rythme vers le côté paquet

Figure B.5 – Horloges de la fonction PNT-F

NOTE 2 – Les interactions entre les blocs de la fonction PNT ne sont pas toutes représentées sur la figure.

NOTE 3 – Une horloge différente peut être mise en oeuvre dans la fonction PNT dans le cas où le rythme est acheminé uniquement par TDM (par exemple SDH). Cette horloge doit être conforme aux Recommandations applicables (par exemple [UIT-T G.813]).

Conformément à la Figure B.5, les horloges suivantes (horloges de réseau de synchronisation) sont définies dans la fonction PNT:

– PEC: horloge permettant de récupérer et d'envoyer le rythme de réseau via des paquets dédiés.

– EEC: horloge permettant de prendre en charge le rythme acheminé via l'Ethernet synchrone (voir la Recommandation [UIT-T G.8262]).

– EXT: rythme provenant d'un signal de rythme de référence dédié externe (par exemple provenant d'un équipement SASE/GPS).

Pour plus de détails sur l'horloge PEC, un complément d'étude est nécessaire.

Les horloges PEC et EEC prennent en charge l'horloge de réseau, et donc une fréquence pour chaque réseau. On compte une horloge/fréquence par équipement. Le maintien doit être assuré pour ces horloges.

Il est possible que l'horloge PEC puisse prendre en charge des paquets bidirectionnels (par exemple PTP, NTP).

Il est à noter que les horloges PSC-A et PEC peuvent être mises en oeuvre de manière analogue car elles sont toutes les deux basées sur une méthode adaptative, mais des conditions différentes peuvent s'appliquer. En outre, l'horloge PSC-A devrait uniquement assurer la terminaison de la distribution du rythme (elle est utilisée pour la récupération du rythme des services TDM en vue de la génération ultérieure du flux TDM), alors que l'horloge PEC peut en principe faire partie d'une chaîne de distribution de la synchronisation.

L'horloge EXT peut être basée sur d'autres Recommandations UIT-T correspondantes (par exemple [UIT-T G.812] et [UIT-T G.813]).

Il est à noter qu'en fonction de l'application de réseau, seules certaines fonctions (et seules certaines horloges) représentées sur les Figures B.4 et B.5 doivent être mises en oeuvre dans la fonction IWF. A titre d'exemple, l'horloge EXT n'est pas nécessaire si d'autres horloges sont mises en oeuvre dans la fonction PNT (par exemple EEC): ces horloges peuvent être utilisées en lieu et place de l'horloge EXT pour recevoir la référence externe à utiliser dans le système.

Comme indiqué dans la Figure B.5, on peut aussi fournir un signal de rythme de référence pour prendre en charge des équipements d'extrémité (par exemple station BTS).

Le signal de rythme de référence sortant représenté dans la Figure B.4 pourrait aussi être acheminé par un signal CES. Le signal de rythme récupéré pourrait être mis à disposition à une interface externe (par exemple conforme à la Recommandation [UIT-T G.703]) ou à l'intérieur du système (dans ce cas, la fonction IWF est intégrée à l'équipement d'extrémité utilisant cette référence de rythme).

Des exemples d'applications types de la fonction IWF sont donnés dans l'Appendice IX.

Des exemples concernant les applications dans le réseau sont décrits au paragraphe B.3.

NOTE 4 – Outre les horloges de la fonction IWF, des horloges peuvent être mises en oeuvre dans d'autres éléments du réseau par paquets, par exemple l'horloge EEC mise en oeuvre dans les commutateurs Ethernet qui font partie de la chaîne de distribution de la synchronisation. Dans ce cas, l'élément de réseau met en oeuvre uniquement les fonctions PNT, et les fonctions de synchronisation peuvent être représentées par l'horloge applicable (par exemple EEC).

D'une manière plus générale, dans le cas où il n'y a pas de fonction CES et où l'horloge EEC est connectée des deux côtés au même type de couche physique (par exemple Ethernet synchrone), il n'y a pas de fonction IWF.

B.3 Exemples dans le réseau

Certains exemples dans le réseau sont présentés dans les figures qui suivent afin de mieux comprendre le modèle présenté dans les Figures B.1 et B.2.

La Figure B.6 montre la récupération de l'horloge de service TDM au moyen d'une méthode synchrone au niveau du réseau: dans cet exemple, le signal de rythme de référence (horloge de réseau) est distribué de la fonction IWF PNT ayant accès à une horloge PRC (par exemple GPS), aux fonctions IWF PNT/CES situées à la périphérie du réseau par paquets (par exemple via l'Ethernet synchrone). Le rythme pour le service TDM est basé sur cette horloge de réseau (méthode synchrone au niveau du réseau).

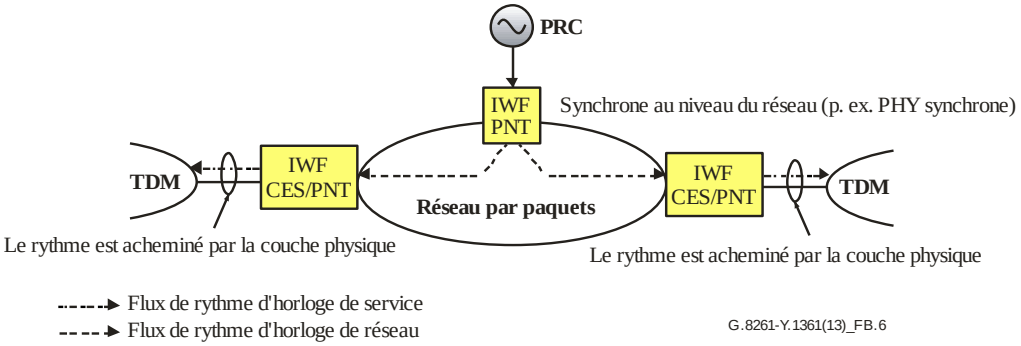


Figure B.6 – Exemple de récupération du rythme au moyen d'une méthode synchrone au niveau du réseau

La Figure B.7 présente la récupération de l'horloge de service au moyen d'une méthode différentielle. Dans cet exemple, la fonction IWF PNT distribue le signal de rythme de référence aux fonctions IWF CES/PNT qui vont utiliser ce signal pour mettre en oeuvre une méthode différentielle (le flux de la fonction IWF de gauche à la fonction IWF de droite représente la distribution des informations différentielles par des messages de rythme).

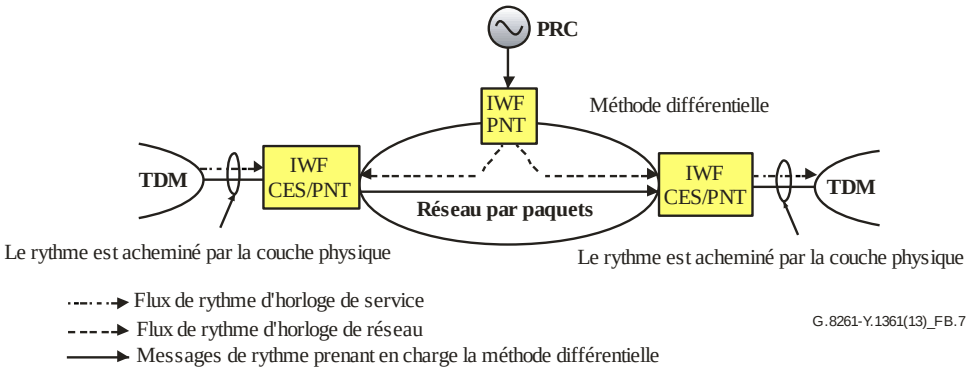


Figure B.7 – Exemple de récupération du rythme au moyen d'une méthode différentielle

La Figure B.8 montre un exemple de récupération de l'horloge de service au moyen d'une méthode adaptative. Dans ce cas, aucun signal de rythme de référence n'est nécessaire (et aucune fonction IWF PNT n'est de fait représentée dans la figure).

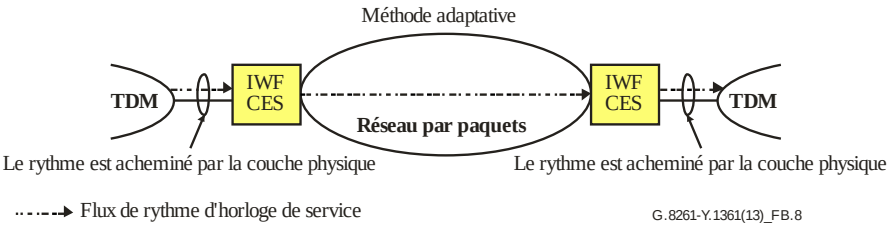


Figure B.8 – Exemple de récupération du rythme au moyen d'une méthode adaptative

Enfin, la Figure B.9 montre une fonction IWF PNT ayant accès à une horloge PRC (horloge primaire de référence) qui distribue le signal de rythme de référence sur le réseau par paquets (par exemple via l'Ethernet synchrone) aux autres fonctions IWF PNT situées à la périphérie du réseau par paquets. Dans l'exemple, la fonction IWF PNT de droite prend en charge le rythme requis par l'équipement d'extrémité. Un exemple type est la prise en charge du rythme requis par une station BTS GSM (par exemple 50 milliardièmes à l'interface radioélectrique).

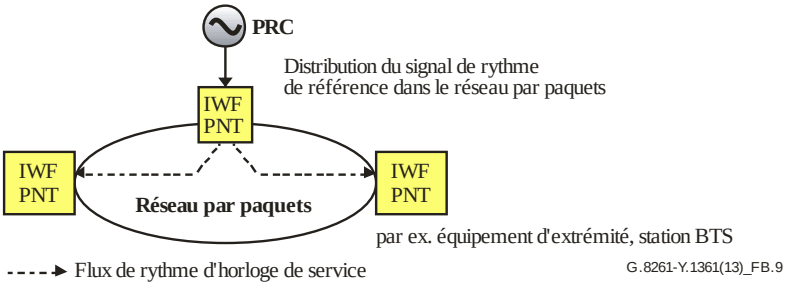


Figure B.9 – Distribution du rythme de référence entre fonctions IWF PNT

Annexe C

Exigences liées à la synchronisation de la fonction IWF CES

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

C.1 Interfaces de trafic

Les exigences ci-dessous sont extraites des Recommandations existantes (par exemple, [UIT-T G.823], [UIT-T G.824]).

NOTE – Les interfaces SDH sont mentionnées ci-après uniquement à des fins d'information, étant donné que le transport des signaux SDH sur les réseaux par paquets doit faire l'objet d'un complément d'étude

C.1.1 Caractéristiques physiques, électriques et optiques

Les caractéristiques physiques et électriques des interfaces E0 (64 kbit/s), E11 (1 544 kbit/s), E12 (2 048 kbit/s), de toutes les interfaces PDH, des interfaces à 51 840 kbit/s (STM-0) et ES1 (STM-1) doivent être conformes aux exigences de la Recommandation [UIT-T G.703].

Les caractéristiques physiques et optiques des interfaces STM-1, STM-4 et STM-16 doivent être conformes aux exigences des Recommandations correspondantes concernant l'interface physique, par exemple, [UIT-T G.957], [UIT-T G.691], [UIT-T G.959.1].

C.1.2 Tolérance de gigue et de dérapage

Pour les réseaux fondés sur la hiérarchie à 2 048 kbit/s, la tolérance de gigue et de dérapage d'entrée aux interfaces de trafic E0, E12, E22, E31, E4 doit être conforme aux exigences du paragraphe 7.1 de la Recommandation [UIT-T G.823].

Pour les réseaux fondés sur la hiérarchie à 1 544 kbit/s, la tolérance de gigue et de dérapage d'entrée aux interfaces de trafic E11, E21, à 32 064 kbit/s, E32, à 97 728 kbit/s doit être conforme aux exigences du paragraphe 7.2 de la Recommandation [UIT-T G.824].

Pour les réseaux de type SDH, la tolérance de gigue d'entrée aux interfaces de trafic STM-1e, STM-1, STM-4, STM-16 doit être conforme aux exigences du paragraphe 6.1.2 de la Recommandation [UIT-T G.825]. La tolérance de gigue d'entrée au niveau de l'interface de trafic à 51 840 kbit/s doit être conforme aux exigences du paragraphe 16.3 de la Recommandation [UIT-T G.703].

Pour les réseaux fondés de type SDH, la tolérance de dérapage d'entrée aux interfaces de trafic à 51 840 kbit/s, STM-1e, STM-1, STM-4, STM-16, d'après le paragraphe 6.1.1 de la Recommandation [UIT-T G.825], doit être conforme aux exigences du paragraphe 9.1 de la Recommandation [UIT-T G.812] ou du paragraphe 8.1 de la Recommandation [UIT-T G.813], selon le cas. Ces exigences sont définies pour les interfaces de synchronisation (respectivement SSU et SEC) puisqu'on considère les interfaces de trafic STM-N comme des interfaces de synchronisation.

Les méthodes de mesure sont définies dans les Recommandations [UIT-T O.171] et [UIT-T O.172].

C.2 Interfaces de synchronisation

Les exigences suivantes sont extraites de Recommandations existantes (par exemple, [UIT-T G.703]).

C.2.1 Caractéristiques physiques et électriques

Les caractéristiques physiques et électriques de l'interface de synchronisation T12 (2 048 kHz) doivent être conformes aux exigences du paragraphe 13 de la Recommandation [UIT-T G.703].

Les caractéristiques physiques et électriques de l'interface de synchronisation E12 (2 048 kbit/s) doivent être conformes aux exigences du paragraphe 9 de la Recommandation [UIT-T G.703].

Les caractéristiques physiques et électriques de l'interface de synchronisation E11 (1 544 kbit/s) doivent être conformes aux exigences du paragraphe 5 de la Recommandation [UIT-T G.703].

C.2.2 Tolérance de gigue et de dérapage

La tolérance de gigue d'entrée au niveau des interfaces de synchronisation T12, E12, d'après le paragraphe 7.2 la Recommandation [UIT-T G.823], doit être conforme aux exigences du paragraphe 9.2, Type I, de la Recommandation [UIT-T G.812] pour les interfaces SSU ou à celles du paragraphe 8.2, Option 1, de la Recommandation [UIT-T G.813] pour les interfaces SEC, selon le cas.

La tolérance de gigue d'entrée au niveau de l'interface de synchronisation E11, d'après le paragraphe 7.3 de la Recommandation [UIT-T G.824], doit être conforme aux exigences du paragraphe 9.2, Types II et III, de la Recommandation [UIT-T G.812] pour les interfaces SSU ou à celles du paragraphe 8.2, Option 2, de la Recommandation [UIT-T G.813] pour les interfaces SEC, selon le cas.

La tolérance de dérapage d'entrée au niveau des interfaces de synchronisation T12, E12, d'après le paragraphe 7.2 de la Recommandation [UIT-T G.823], doit être conforme aux exigences du paragraphe 9.1, Type I, de la Recommandation [UIT-T G.812] pour les interfaces SSU ou à celles du paragraphe 8.1, Option 1, de la Recommandation [UIT-T G.813] pour les interfaces SEC, selon le cas.

La tolérance de dérapage d'entrée au niveau de l'interface de synchronisation E11, d'après le paragraphe 7.3 de la Recommandation [UIT-T G.824], doit être conforme aux exigences du paragraphe 9.1, Types II et III, de la Recommandation [UIT-T G.812] pour les interfaces SSU ou à celles du paragraphe 8.1, Option 2, de la Recommandation [UIT-T G.813] pour les interfaces SEC, selon le cas.

C.3 Fonction de synchronisation de la fonction IWF

La fonction de synchronisation de la fonction IWF est décrite de manière détaillée dans l'Annexe B.

Selon les services à fournir, un sous-ensemble approprié des fonctions de rythme décrites dans l'Annexe B doit être pris en charge par la fonction IWF.

Si l'on se réfère à la fonction IWF CES dans la Figure B.4, un contrôle de glissement dans la direction de l'émetteur TDM est recommandé afin de limiter les éventuelles surcharges/sous-charges du tampon. Les glissements doivent être effectués sur des trames de n × 125 microsecondes.

Lorsque les horloges de l'émetteur et/ou du récepteur TDM sont en mode maintien ou sont rattachables à des horloges en mode maintien, et en cas d'utilisation d'une technique de récupération d'horloge synchrone (méthode différentielle ou fonctionnement synchrone au niveau du réseau), des glissements (très probablement incontrôlés) se produiront.

Lors du choix d'une nouvelle source de rythme, le dérapage de sortie peut momentanément dépasser la limite fixée. Toutefois, le dérapage de sortie doit rester en deçà de la limite à la fin d'une période appelée "période de stabilisation". Les exigences concernant la période de stabilisation doivent faire l'objet d'un complément d'étude; des informations plus détaillées figurent à l'Appendice II.

Le temps de réponse est une autre caractéristique ayant trait à la fonction IWF. Les exigences de temps de réponse sont normalement définies au niveau du réseau en spécifiant le temps de réponse total pour la connexion de bout en bout. Les exigences quant à la contribution de la fonction IWF au temps de réponse total doivent faire l'objet d'un complément d'étude.

La spécification du bruit total qui peut être introduit par un segment CES est définie au paragraphe 9.1. Ce paragraphe définit aussi les caractéristiques de transfert de bruit du segment total CES, y compris la paire de fonctions IWF chargée d'adapter le flux TDM au réseau par paquets.

Annexe D

Applications réseau et exigences concernant les horloges spécifiées dans la Recommandation UIT-T G.8262/Y.1362

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

Un réseau de synchronisation conforme à la Recommandation [UIT-T G.803] emploie une ou plusieurs horloges PRC, des unités SSU et des horloges SEC. Les unités SSU sont souvent des équipements autonomes. Les informations de rythme sont transférées par des éléments de réseau SDH, d'une horloge PRC à une unité SSU et d'une unité SSU à une autre unité SSU de niveau hiérarchique inférieur. Deux routes ou plus sont prévues pour la résilience. Voir la partie a) de la Figure D.1.

Avec l'introduction de la synchronisation dans les réseaux à commutation par paquets (PSN), les éléments de ces réseaux prenant en charge l'Ethernet synchrone doivent être en mesure de transférer des informations de rythme et de fonctionner avec des éléments de réseau SDH (par exemple contenant des horloges SEC). Les éléments de réseau à commutation par paquets contenant des horloges EEC doivent être en mesure d'établir des lignes de synchronisation entre l'horloge PRC et les unités SSU et de fournir un signal de synchronisation aux applications sensibles au facteur temps. Les nouvelles liaisons de rythme via les réseaux à commutation par paquets doivent être compatibles avec les liaisons de rythme SDH existantes afin d'assurer l'interfonctionnement avec le réseau de synchronisation. Dans la partie b) de la Figure D.1 sont représentées deux chaînes de synchronisation, l'une formée d'éléments de réseau SDH (cercles où figure la lettre "S"), l'autre formée d'éléments de réseau à commutation par paquets employant les interfaces Ethernet synchrone (cercles où figure la lettre "E").

Les éléments de réseau hybrides sont décrits dans l'Appendice I de la Recommandation [UIT-T G.8262]. Ces éléments de réseau ont à la fois des interfaces STM-N auxquelles sont associées des fonctions de brassage SDH-VC et des interfaces Ethernet synchrone (ETY) auxquelles est associée la commutation par paquets. Il devrait être possible d'employer de tels éléments de réseau hybrides n'importe où dans la chaîne de synchronisation. Un exemple est donné dans la partie c) de la Figure D.1. L'élément de réseau hybride supérieur (cercle où figure la lettre "H") utilise une interface STM-N à l'entrée et une interface ETY à la sortie. L'élément de réseau hybride inférieur utilise une interface ETY à l'entrée et une interface STM-N à la sortie. Le rythme est transféré de l'interface STM-N à l'interface ETY et de l'interface ETY à l'interface STM-N, respectivement.

Les caractéristiques des horloges EEC peuvent permettre de construire des chaînes de distribution du rythme ayant le même comportement que les chaînes d'horloges SEC (voir la partie b) de la Figure D.1.

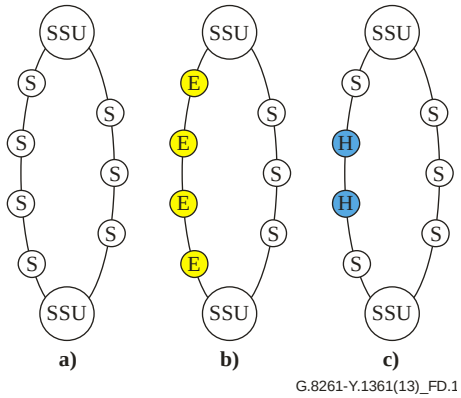


Figure D.1 – Chaînes de synchronisation mises en oeuvre avec différents types d'éléments de réseau

Appendice I

Caractéristiques des commutateurs Ethernet, des réseaux Ethernet, des routeurs et des systèmes d'accès

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

I.1 Caractéristiques des commutateurs et des réseaux Ethernet

I.1.1 Caractéristiques de temps de traitement des commutateurs Ethernet

I.1.1.1 Opérations fonctionnelles dans un commutateur Ethernet

Sans entrer dans les détails, une trame Ethernet qui passe dans un commutateur Ethernet type fait l'objet de quatre opérations fonctionnelles, représentées sur la Figure I-1:

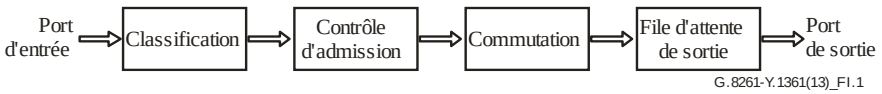


Figure I-1 – Fonctions types dans un commutateur Ethernet

– Classification – Identification du flux auquel la trame appartient et détermination du port de sortie et de la priorité.

– Contrôle d'admission – Application de la gestion du trafic relative au flux (régulation, mise en forme, marquage).

– Commutation – Transmission au port de sortie approprié.

– File d'attente de sortie – Attente d'un créneau de transmission au niveau du port de sortie. Des politiques de mise en file d'attente telles que la priorité stricte, la mise en file d'attente équitable pondérée ou le circuit cyclique sont généralement appliquées.

Les paragraphes qui suivent examinent les propriétés de temps de traitement des diverses fonctions d'un commutateur.

I.1.1.2 Temps de traitement dans l'étage d'entrée

Le temps nécessaire pour la classification et le contrôle d'admission devrait être approximativement constant dans la plupart des cas. Toutefois, suivant la conception du commutateur et sa charge de trafic, le temps mis pour réaliser ces fonctions peut varier. Par exemple, dans certains commutateurs, la classification et le contrôle d'admission peuvent être effectués par un logiciel présent dans un processeur de réseau. A pleine charge, il se peut que le logiciel ne puisse pas suivre le rythme du nombre de trames à traiter, d'où un risque d'augmentation du temps de traitement et d'abandon de certaines trames. Il peut en être de même de certaines conceptions fondées sur des éléments matériels.

La Figure I-2 représente de façon simpliste la variation du temps de traitement dans l'étage d'entrée en fonction de la charge du commutateur. Lorsque la charge de trafic est faible, le commutateur peut s'occuper de toutes les trames qu'il reçoit sans engendrer de temps de traitement additionnel. A mesure que le débit des trames augmente, tandis que la capacité globale de traitement du commutateur n'est pas dépassée, le débit de trames instantané risque de dépasser le débit de traitement disponible. Il en résulte une mise en tampon de trames dans l'attente de leur traitement et un certain temps de traitement additionnel. Enfin, à un certain stade, le débit moyen d'entrée de trames peut dépasser la capacité de traitement, entraînant une augmentation du temps de traitement et, dans certains cas, l'abandon de trames par manque de capacité de mise en tampon.

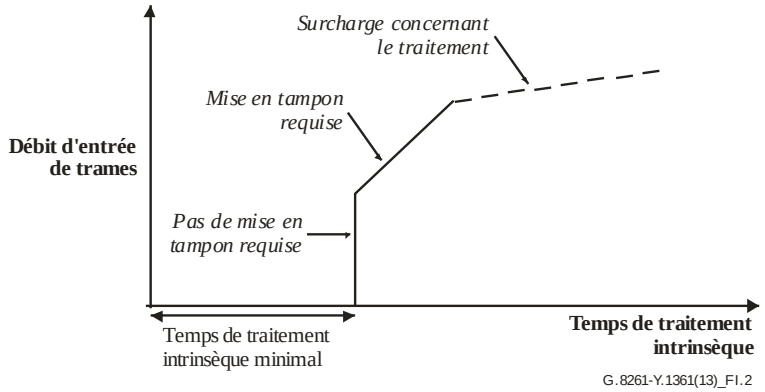


Figure I-2 – Variation du temps de traitement dans l'étage d'entrée en fonction de la charge

I.1.1.3 Temps de traitement dans l'étage de commutation

Le temps de traitement dans l'étage de commutation dépend aussi de l'architecture du commutateur et de sa charge de trafic. Par exemple, bon nombre de commutateurs utilisent des algorithmes de programmation pour la commutation des trames entre les ports d'entrée et les ports de sortie, ce qui peut entraîner une faible variation du temps de traitement des trames, suivant leur instant d'arrivée par rapport au "tic" du programmateur. Toutefois, dans la plupart des cas, cette variation du temps de traitement est faible car le programmateur fonctionne à une fréquence élevée.

Pour des débits de données d'entrée très élevés, l'étage de commutation peut être surchargé et incapable de prendre en charge la totalité du volume de trafic à commuter. Il en résultera alors un abandon de trames.

I.1.1.4 Temps d'attente dans la file d'attente de sortie

Le temps d'attente dans la file d'attente de sortie dépendra de la politique de mise en file d'attente employée et de la priorité du flux de trafic. Par exemple, lorsqu'une politique de priorité stricte est appliquée, un flux de priorité élevée (par exemple un flux de paquets de rythme) risque de subir une attente "due au blocage en tête de ligne". C'est le cas lorsqu'une trame, tout en ayant la priorité maximale, arrive au port de sortie juste après qu'une trame de faible priorité ait commencé à être transmise. La trame de priorité élevée doit alors attendre que la transmission de l'autre trame soit terminée.

La Figure I-3 montre le profil des temps d'attente pour une population de trames de priorité élevée lorsqu'une politique de mise en file d'attente fondée sur la priorité stricte est appliquée. Dans un souci de simplicité, on suppose dans le diagramme que le temps de traitement des trames dans les autres fonctions du commutateur, appelé ici "temps de traitement intrinsèque dans le commutateur", est approximativement constant. Une partie des trames arrivent au niveau de la file d'attente de sortie à un moment auquel aucune autre trame n'est en cours de transmission. Ces trames sont transmises immédiatement. Les autres trames doivent attendre dans la file d'attente jusqu'à ce que la transmission soit terminée. Il peut également y avoir un temps d'attente additionnel dû à la présence d'autres paquets de priorité élevée dans la file d'attente.

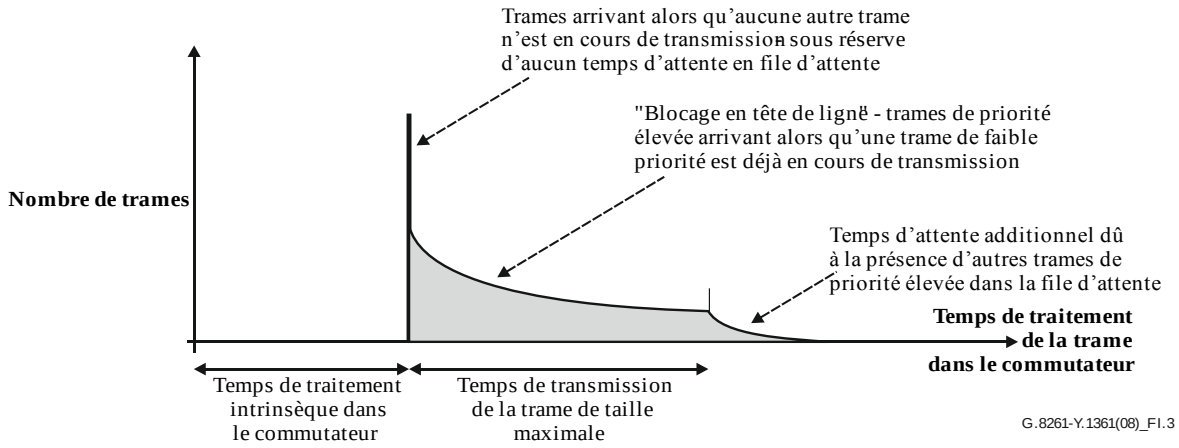


Figure I-3 – Mise en file d'attente fondée sur la priorité stricte: blocage en tête de ligne

I.1.1.5 Temps de traitement types dans les commutateurs Ethernet

Sur la base du modèle décrit au paragraphe I.1, il est possible de modéliser de façon simplifiée les temps de traitement dans un commutateur Ethernet, deux contributions principales étant retenues.

Le premier type de contribution est lié aux opérations de classification, de contrôle d'admission et de commutation tandis que le second est lié à la file d'attente de sortie et à la transmission.

Le premier type est donc essentiellement lié à la capacité de traitement du commutateur tandis que le second dépend du débit binaire de la liaison de sortie (par exemple 1 Gbit/s) ainsi que de la politique de mise en file d'attente et des priorités qui sont appliquées.

Dans l'hypothèse où des commutateurs Ethernet ne seront pas mis en place dans le réseau Ethernet dans le cas où leur capacité de traitement entraînerait un engorgement, on peut supposer que la capacité de traitement contribue pour moins de 10 microsecondes (en réalité, il faut 12 microsecondes pour transmettre sur une liaison à 1 Gbit/s un paquet de 1 500 octets se trouvant dans la file d'attente de sortie) et que, d'autre part, la surcharge ou la mise en tampon concernant le traitement ne pose pas de problème (voir la Figure I-2).

En ce qui concerne le second type de contribution au temps de traitement, on peut en calculer les valeurs conformément au modèle présenté au paragraphe 7.

Le modèle simplifié est illustré sur la Figure I-4.

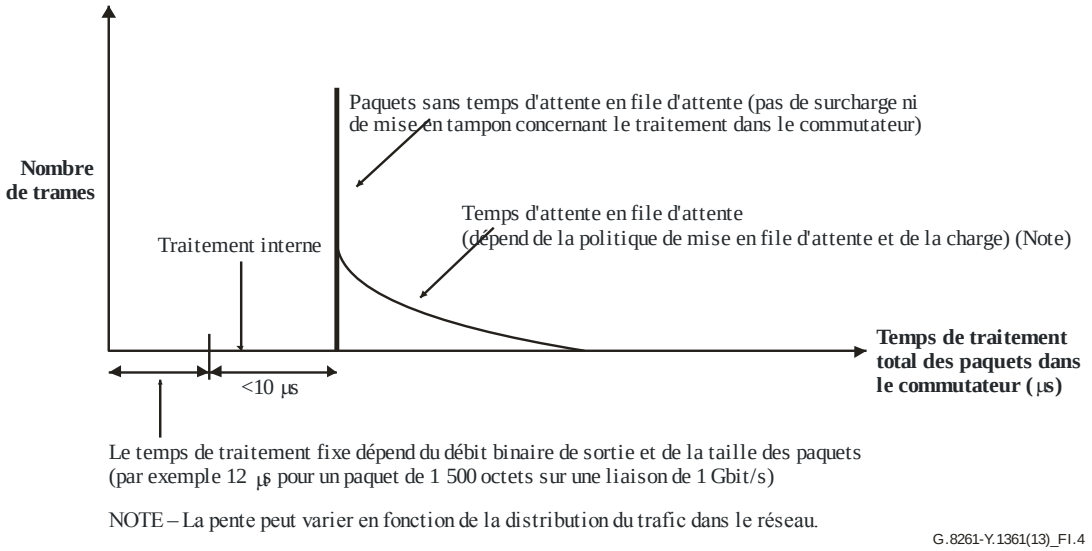


Figure I-4 – Modèle simplifié concernant les temps de traitement dans le commutateur Ethernet

D'après la Figure I-4, on notera que le traitement de la file d'attente peut également avoir une incidence sur la forme de la distribution des temps de traitement.

I.1.2 Caractéristiques des réseaux Ethernet commutés

I.1.2.1 Topologie des réseaux Ethernet

Les topologies de réseaux possibles sont nombreuses, mais, lorsqu'il s'agit d'examiner un flux particulier dans un réseau, on peut utiliser comme modèle une chaîne de commutateurs Ethernet comme indiqué sur la Figure I-5. A chaque commutateur de la chaîne, une trame Ethernet risque de subir un retard découlant des mécanismes décrits au paragraphe I.1. Les autres trames passant dans le commutateur ont une incidence sur ce retard. Le trafic acheminé vers le même port de sortie aura une incidence sur le temps d'attente dans la file d'attente de sortie, tandis que l'ensemble du trafic passant dans le commutateur (y compris celui qui est acheminé vers les autres ports) aura une incidence sur la durée de traitement et la durée de commutation.

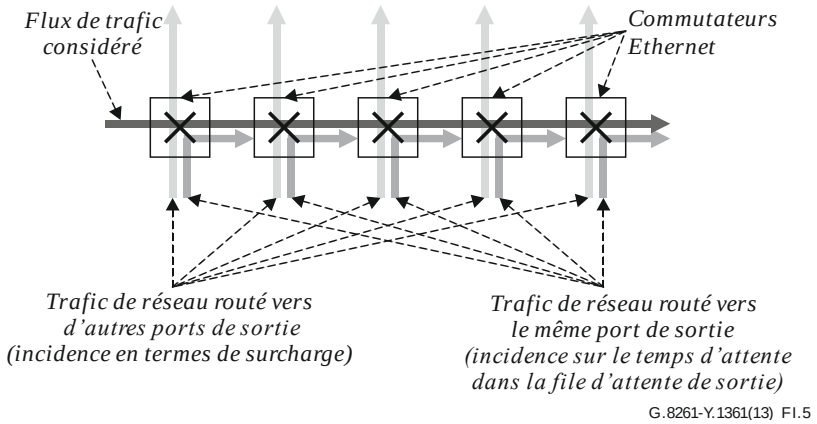


Figure I-5 – Flux de données dans un réseau Ethernet

La longueur de la chaîne a une incidence sur le temps de transfert total du système; en d'autres termes, plus les commutateurs sont nombreux, plus le temps de transfert total est grand, et plus la variation de ce temps de transfert est grande aussi. Toutefois, dans bon nombre des réseaux Ethernet, la longueur de la chaîne peut être relativement petite. Par exemple, un réseau hiérarchique comporte souvent deux ou trois niveaux uniquement, la longueur de la chaîne étant alors de cinq commutateurs au plus.

Dans certains cas, on emploie une topologie en anneau, généralement fondée sur dix commutateurs environ, ce qui donne une "distance" maximale autour de l'anneau de cinq commutateurs. On utilise parfois des anneaux interconnectés, ce qui a pour effet de doubler la "distance" et de la porter à environ dix.

I.1.2.2 Diagrammes et niveaux de trafic

A l'exception du trafic à débit constant et en temps réel, le trafic de réseau est essentiellement un trafic par rafales. A presque tous les niveaux, on observe des variations de trafic. Par exemple, à un très bas niveau, on observe des rafales liées à l'ouverture et à la fermeture de la fenêtre TCP (protocole de commande de transmission). A un niveau plus élevé, on peut observer des rafales liées à la nature de l'application (par exemple des téléchargements de fichiers volumineux), tandis qu'à un niveau encore plus élevé, on peut observer des rafales liées à l'heure du jour (par exemple niveaux d'activité plus élevés le jour que la nuit).

Lorsqu'on examine les caractéristiques de temps de transfert d'un flux de transport TDM, il faut tenir compte des effets des autres flux de trafic dans le réseau. Par exemple, sur la Figure I-5, chacun des flux de trafic dans le réseau peut varier d'une manière ou d'une autre, indépendamment des autres flux.

Dans la Recommandation [b-UIT-T G.1020], il est proposé d'utiliser des modèles de Markov à quatre états pour modéliser la distribution des pertes de paquets. On peut appliquer une technique analogue aux longueurs de rafale dans chaque flux, afin de modéliser les rafales et les groupes de rafales. On peut ensuite appliquer une variation à plus long terme (par exemple la variation diurne) en tant que variation progressive dans les densités de rafales.

I.1.2.3 Evénements perturbateurs dans les réseaux Ethernet

Il existe plusieurs types d'"événements perturbateurs" susceptibles de causer dans un réseau Ethernet des variations soudaines du temps de transfert, permanentes ou temporaires. Ces événements perturbateurs sont notamment les suivants:

– Changement du routage, entraînant une variation échelon permanente du temps de transfert;
– Surcharge de réseau temporaire, entraînant une importante variation du temps de transfert mais à titre temporaire;
– Perte de service temporaire, entraînant la perte de tous les paquets pendant une certaine période.

I.2 Caractéristiques de temps de traitement des routeurs

Le présent paragraphe décrit les caractéristiques de temps de traitement des routeurs. Il existe des similitudes avec les commutateurs Ethernet décrits dans les paragraphes précédents.

Pour pouvoir déterminer les contributions potentielles aux temps de traitement dans un routeur, il peut être utile de décrire le trajet emprunté par un paquet de rythme qui traverse un noeud de réseau.

Un noeud de réseau peut être représenté de manière générique avec trois principaux segments:

1) Segment d'entrée: correspond à toutes les fonctions que les paquets de rythme sont susceptibles d'utiliser dans le noeud de réseau depuis le port physique d'entrée jusqu'à l'entrée du moteur de transmission du noeud;

2) Segment de transmission: correspond au moteur de transmission du noeud de réseau;

3) Segment de sortie: correspond à toutes les fonctions que les paquets de rythme sont susceptibles d'utiliser dans le noeud de réseau depuis la sortie du moteur de transmission du noeud jusqu'au port physique de sortie.

La figure qui suit illustre ces trois principaux segments:

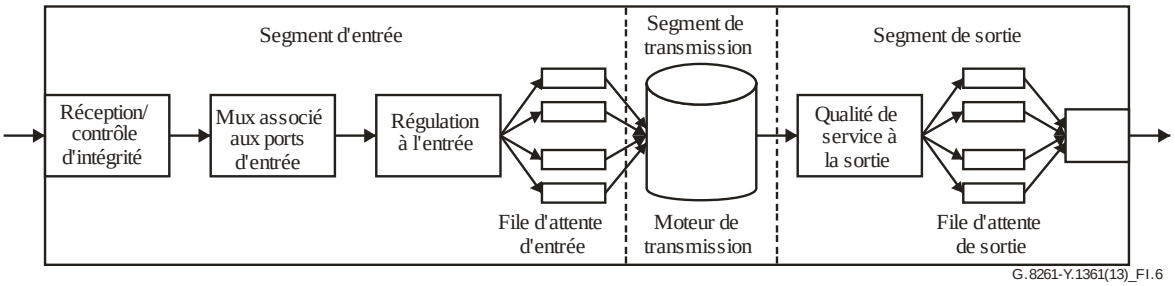


Figure I.6 – Illustration des trois principaux segments d'un routeur

Les modèles caractérisant chacun de ces segments doivent faire l'objet d'un complément d'étude.

I.3 Caractéristiques de temps de transfert des systèmes d'accès (noeuds hyperfréquences, PON, DSL)

Les caractéristiques de temps de transfert des systèmes d'accès (noeuds hyperfréquences, PON, DSL) doivent faire l'objet d'un complément d'étude.

Appendice II

Période de stabilisation

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

La période de stabilisation est un paramètre qui peut être important pendant la phase de démarrage (pour installer rapidement les équipements) ou lors de la commutation entre deux références de rythme (pour limiter les transitoires de phase). Si un équipement fonctionne en mode maintien pendant de longues périodes (par exemple pendant des heures), l'erreur de phase qui se produit au moment de choisir une nouvelle référence d'horloge est normalement largement dominée par l'erreur de phase causée par l'erreur de fréquence de l'horloge en mode maintien.

En cas d'utilisation d'une méthode adaptative, la période de stabilisation requise peut dépendre du bruit de phase effectif dans le réseau par paquets. De fait, en cas de forte variation du temps de transfert des paquets dans un réseau par paquets, la durée nécessaire pour verrouiller l'horloge sur la référence de rythme peut être longue.

La mise en place de filtres et les caractéristiques de l'oscillateur interne sont également importantes. En réalité, suivant les caractéristiques du mode maintien (par exemple Type II ou Type III de la Recommandation [UIT-T G.812]), on peut accepter une durée plus longue lors de la commutation entre deux références, car un bon maintien permet d'avoir des périodes de verrouillage plus longues (la principale exigence est de limiter l'erreur de phase totale pendant la commutation entre les références).

Les exigences concernant la période de stabilisation sont actuellement à l'étude.

Dans le cadre des tests décrits en détail à l'Appendice VI, une période de stabilisation d'au moins 900 s est proposée pour les méthodes adaptatives étant donné que, pour pouvoir caractériser correctement les statistiques de variation du temps de transfert des paquets dans un réseau, une durée suffisamment longue peut être requise.

Appendice III

Considérations relatives aux méthodes fondées sur les paquets

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

Dans certaines applications, il est nécessaire de récupérer des signaux de rythme de référence qui respectent les limites de dérapage exprimées en termes de gabarits de trafic dans les Recommandations [UIT-T G.823] et [UIT-T G.824]. Dans certains cas, ces limites dans le réseau peuvent parfaitement être respectées par les méthodes fondées sur les paquets dans les réseaux par paquets bien conçus (par exemple les réseaux conformes au modèle A, voir l'Appendice V). Des études sont en cours pour déterminer ce qui constitue un réseau par paquets bien conçu, voir aussi le paragraphe 12.2.2.

Dans le cas du raccordement mobile, l'utilisation d'une méthode fondée sur les paquets pour synchroniser la station BTS/le noeud B dépendra d'un certain nombre d'aspects complexes liés en grande partie à la fonctionnalité intégrée dans la station BTS/le noeud B.

Il est nécessaire d'examiner les points suivants:

1) la stabilité de l'oscillateur dans la station BTS/le noeud B;
2) l'interface de couche physique avec la station BTS/le noeud B (par exemple TDM ou Ethernet);
3) la spécification de la tolérance à l'entrée de la station BTS/du noeud B (exprimée en termes de gabarits de trafic dans les Recommandations [UIT-T G.823]/[UIT-T G.824] par le 3GPP (projet de partenariat pour la troisième génération) dans le cas d'interfaces TDM).

En ce qui concerne le point 1), lorsque la précision en fréquence est le seul problème, un oscillateur stable pourrait permettre d'assouplir les conditions relatives à la variation du temps de transfert des paquets dans le réseau car on pourrait concevoir une période de filtrage plus longue. Il convient de noter que des oscillateurs stables sont en principe mis en oeuvre dans les stations de base, du fait de la stabilité à court terme requise à l'interface radioélectrique et des conditions de maintien. Un complément d'étude est nécessaire à ce sujet (par exemple concernant le temps nécessaire pour respecter une condition particulière une fois que l'oscillateur a été mis sous tension).

Appendice IV

Applications et cas d'utilisation

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

IV.1 Considérations générales

Le présent Appendice a pour objet de donner des explications concernant trois catégories de cas d'utilisation. Une attention particulière est accordée aux situations dans lesquelles la technologie PDH/SDH est remplacée par la technologie Ethernet dans le réseau de transport prenant en charge le cas d'utilisation.

Il existe trois principaux types de synchronisation qui sont importants. Chaque application particulière peut avoir des besoins différents, et il est nécessaire de faire en sorte que le réseau de transport puisse fournir la fonctionnalité demandée, ou l'opérateur de réseau doit prévoir d'autres méthodes. Les trois types de synchronisation sont les suivants:

1) synchronisation en fréquence;
2) synchronisation en phase;
3) synchronisation en temps.

La synchronisation en fréquence consiste à aligner les horloges en fréquence, processus qui est également appelé syntonisation. La synchronisation en phase et la synchronisation en temps sont définies dans la Recommandation [UIT-T G.8260]. Pour certaines applications, la synchronisation en fréquence peut convenir, tandis que pour d'autres, il peut être nécessaire d'associer une synchronisation en fréquence et une synchronisation en temps/phase. Pour certaines applications, la source du temps/rythme peut être spécifiée, tandis que pour d'autres, la source pourrait être l'une quelconque des horloges (pilotes) d'un ensemble.

Pour plus de détails sur les aspects de synchronisation en phase et en temps, voir la Recommandation [UIT-T G.8271].

On considère ici les trois catégories de cas d'utilisation suivantes:

1) système sans fil;
2) infrastructure;
3) passerelle média.

IV.2 Système sans fil

IV.2.1 Applications

Dans cette catégorie générale de cas d'utilisation, on compte plusieurs applications importantes, parmi lesquelles certaines nécessitent uniquement des informations sur la fréquence, d'autres nécessitent l'heure du jour et d'autres encore nécessitent des informations sur la phase. Du point de vue du rythme, l'application doit acheminer les informations de rythme appropriées à une station de base (par exemple un noeud B).

IV.2.2 Exemples

IV.2.2.1 Station de base GSM (synchronisation en fréquence)

Les exigences de rythme applicables à l'interface radioélectrique GSM figurent dans la spécification technique [b-ETSI TS 145 010]. A l'interface radioélectrique d'une station de base GSM, la précision en fréquence doit être de ±50 milliardièmes. Dans le cas de picostations de base, la précision peut être assouplie à ±100 milliardièmes. Ces exigences sont nécessaires essentiellement en raison de la nécessité de prendre en charge le transfert intercellulaire entre stations de base. Il convient de noter

que les documents présentant les exigences ne traitent pas directement du cas de l'interface réseau (filaire). Néanmoins, dans le cas des réseaux TDM, les exigences de synchronisation concernant les signaux d'entrée sont en principe exprimées en termes de gabarits de dérapage de sortie présentés dans les Recommandations [UIT-T G.823] et [UIT-T G.824], et de rattachabilité à une source PRC.

Il convient de noter que dans le cas d'un réseau d'accès radioélectrique GSM, les exigences concernant la précision en fréquence ne sont pas aussi strictes pour ce qui est de limiter le taux de glissement. En réalité, dans ces cas, les données d'un seul utilisateur sont stockées dans un tampon relativement grand (de 10 à 30 ms) et, dans l'hypothèse d'une précision en fréquence de 50 milliardièmes, la perte de données (tampon vide ou plein) se produit normalement au bout de durées longues, beaucoup plus longues que dans le cas d'éléments de réseau de commutation classiques pour lesquels les tampons prenant en charge les données sont beaucoup plus petits (125 microsecondes).

IV.2.2.2 Station de base UMTS FDD (synchronisation en fréquence)

Les exigences de rythme applicables à l'interface radioélectrique WCDMA FDD (duplex par répartition en fréquence) figurent dans la spécification technique [b-ETSI TS 125 104].

A l'interface radioélectrique d'une station de base UMTS (système de télécommunications mobiles universelles) FDD, la précision en fréquence doit être de ±50 milliardièmes; pour le mode FDD, il n'y a pas d'exigence concernant l'alignement de phase.

Comme dans le cas des réseaux GSM, les exigences concernant la précision en fréquence ne sont pas aussi strictes pour ce qui est de limiter le taux de glissement en raison du tampon de grande taille utilisé pour stocker les données d'un seul utilisateur.

IV.2.2.3 Station de base UMTS TDD (synchronisation en fréquence et en phase)

Les exigences de rythme applicables à l'interface radioélectrique WCDMA TDD (duplex par répartition dans le temps) figurent dans la spécification technique [b-ETSI TS 125 105].

A l'interface radioélectrique d'une station de base UMTS TDD, la précision en fréquence doit être de ±50 milliardièmes; pour le mode TDD, un délai maximal de 2,5 µs est en outre imposé pour l'alignement de phase des stations de base voisines.

Comme dans le cas des réseaux GSM, les exigences concernant la précision en fréquence ne sont pas aussi strictes pour ce qui est de limiter le taux de glissement en raison du tampon de grande taille utilisé pour stocker les données d'un seul utilisateur.

IV.2.2.4 Station de base 3GPP2 CDMA2000 (synchronisation en fréquence et en temps)

Pour le CDMA2000, les normes applicables sont [b-3GPP2 C.S0010-B] et [b-3GPP2 C.S0002-C].

Conformément aux spécifications CDMA2000, la différence moyenne entre la fréquence réelle de la porteuse d'émission CDMA et la fréquence assignée doit être comprise dans l'intervalle ± 50 milliardièmes.

Dans les spécifications CDMA2000, il est en outre précisé que chaque station de base doit utiliser une référence de base de temps qui est alignée temporellement sur l'échelle de temps des systèmes CDMA. Cette échelle de temps est synchrone avec le temps UTC (aux secondes intercalaires près) et utilise la même origine de temps que le temps GPS. Toutes les stations de base utilisent la même échelle de temps (dans les limites d'une petite tolérance d'erreur). Pour toutes les stations de base, l'erreur d'alignement sur le temps pilote devrait être inférieure à 3 µs et doit être inférieure à 10 µs.

Compte tenu des exigences ci-dessus, il est courant d'équiper les stations de base CDMA de récepteurs GPS.

IV.2.2.5 Station de base TD-SCDMA (synchronisation en fréquence et en phase)

Les exigences de rythme applicables à l'interface radioélectrique TD-SCDMA figurent dans le rapport technique [b-3GPP TR 25.836].

A l'interface radioélectrique d'une station de base TD-SCDMA, la précision en fréquence doit être de ±50 milliardièmes; de plus, un délai maximal de 3 µs est imposé pour l'alignement de phase des stations de base voisines (on effectue alors une mesure qui consiste à comparer la phase entre stations de base adjacentes).

Compte tenu des exigences ci-dessus, il est courant d'équiper les stations de base TD-SCDMA de récepteurs GPS.

IV.2.3 Remarques

Les exigences présentées dans les paragraphes précédents s'appliquent à l'interface radioélectrique. Lorsqu'une référence de temps ou de fréquence est acheminée par le réseau, d'autres exigences s'appliquent. Celles-ci dépendent de plusieurs facteurs tels que les caractéristiques de l'oscillateur de la station de base radioélectrique, la capacité de filtrage de la station de base radioélectrique, etc. A titre d'exemple, une précision en fréquence à long terme nettement meilleure que 50 milliardièmes peut être exigée pour le signal de rythme de référence acheminé sur le réseau dans le cas où une précision en fréquence de 50 milliardièmes doit être respectée à l'interface radioélectrique. Une valeur de précision en fréquence de 16 milliardièmes ([UIT-T G.812], Type II) a parfois été mentionnée.

En général, sur le long terme, le signal de rythme de référence peut être autorisé à dériver de *n* milliardièmes sous réserve que cette valeur soit suffisamment petite par rapport à l'écart maximal autorisé (à savoir *n* milliardièmes << 50 milliardièmes << 100 milliardièmes, ou << 250 milliardièmes pour les différents cas). On obtient ainsi un gabarit de tolérance MTIE pour lequel les limites à court terme sont fixées par les gabarits de trafic des Recommandations [UIT-T G.823] et [UIT-T G.824] et celles à long terme sont fixées par une droite correspondant à *n* milliardièmes (où *n* doit être inférieur à l'exigence applicable à l'interface radioélectrique).

NOTE – Il a été signalé qu'il existe des stations de base pour lesquelles les limites de tolérance du dérapage à court terme sont inférieures à ce qui est spécifié par les gabarits de trafic des Recommandations [UIT-T G.823] et [UIT-T G.824].

De même, dans le cas où une phase et/ou un temps précis doivent être distribués aux stations de base radioélectriques, le bilan à attribuer au réseau pourrait être bien inférieur aux exigences définies par les normes sur les systèmes sans fil à respecter à l'interface radioélectrique. Ces aspects doivent faire l'objet d'un complément d'étude.

Dans plusieurs cas, par exemple dans celui d'une station de base GSM, ce type d'équipement, une fois déployé et en fonctionnement, est capable de déterminer ses besoins de rythme à partir de l'interface de trafic avec le réseau (filaire), par exemple PDH ou SDH. Si la liaison PDH/SDH est remplacée par une liaison Ethernet ou Ethernet synchrone, les besoins de la station de base doivent toujours être respectés.

La distribution de la phase/du temps n'est pas courante dans le cas des liaisons PDH/SDH. Une phase et un temps précis sont couramment distribués par GPS. En fonction de la précision requise et des conditions du réseau, des méthodes basées sur des horodates (voir le paragraphe 7.2) peuvent aussi convenir dans ce cas. Dans certaines mises en oeuvre, on utilise des protocoles bidirectionnels.

IV.3 Infrastructure

Plusieurs applications relèvent de cette catégorie de cas d'utilisation: multiplexeur d'accès de ligne d'abonné numérique IP (IP DSLAM), système modulaire de terminaison de câblo-modem (M-CMTS), noeud d'accès multiservice (MSAN), terminaison de ligne optique (OLT), etc. Un complément d'étude est nécessaire à ce sujet.

IV.4 Passerelle média

A étudier.

Appendice V

Modèles de référence des réseaux par paquets

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

Les modèles de référence des réseaux par paquets qui ont été utilisés pour caractériser la performance de réseaux par paquets, en termes de variations du temps de transfert des paquets, sont représentés dans les Figures V.1 et V.2: le modèle A (Figure V.1) concerne les applications dont les exigences en termes de temps de transfert et de variation du temps de transfert sont très strictes, le modèle B (Figure V.2) concerne les scénarios dont les exigences en termes de variation du temps de transfert sont moins strictes.

Ces modèles ne décrivent pas comment les réseaux par paquets doivent être conçus. Leur but est uniquement de préciser de manière générale les caractéristiques des réseaux par paquets.

V.1 Modèles pour les réseaux Ethernet

Les modèles suivants ont été définis pour les réseaux Ethernet (Figures V.1 et V.2).

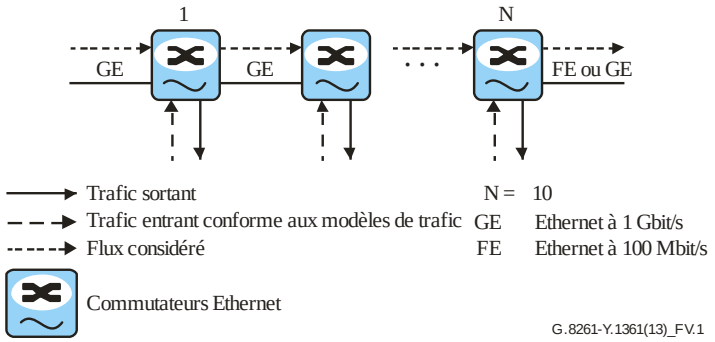


Figure V.1 – Modèle A de référence de réseau par paquets (réseau Ethernet commuté)

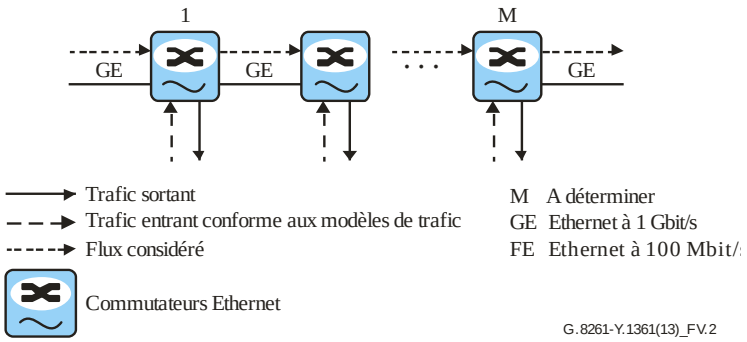


Figure V.2 – Modèle B de référence de réseau par paquets (réseau Ethernet commuté)

NOTE 1 – En ce qui concerne le nombre de commutateurs Ethernet ("M") sur la Figure V.2, il est généralement admis que 20 est un nombre raisonnable. Ce nombre doit être confirmé.

NOTE 2 – Des liaisons à 10 Gbit/s pourront être envisagées dans de nouveaux modèles.

Les scénarios suivants ont été envisagés:

– Scénario 1: réseau Ethernet commuté, meilleur effort avec surapprovisionnement (une seule file d'attente);

– Scénario 2: réseau Ethernet commuté, qualité de service conforme aux normes [IEEE 802.1Q], [b-IEEE 802.1p] (au moins deux files d'attente, avec une file d'attente réservée au traitement des données en temps réel et politique WFQ);
– Scénario 3: réseau Ethernet commuté, qualité de service conforme aux normes [IEEE 802.1Q], [b-IEEE 802.1p] (avec une file d'attente réservée au traitement des données utilisées pour la récupération du rythme, par exemple horodates).

NOTE 3 – Pour comprendre l'applicabilité des modèles représentés dans les Figures V.1 et V.2, une solution simple consiste à définir deux principaux types de réseau: un réseau dorsal, qui peut aussi être utilisé pour acheminer des services dans le réseau d'accès (par exemple largeur de bande louée), et un réseau d'accès dédié. Le modèle B (Figure V.2) est alors le modèle de référence qui s'applique principalement au premier type de réseau par paquets (réseau dorsal), tandis que le modèle A (Figure V.1) est le modèle de référence qui s'applique principalement à un réseau d'accès (par exemple réseau d'accès radioélectrique).

D'après les modèles décrits au paragraphe 9, cela signifie qu'en général (dans la plupart des cas), l'îlot CE dans les configurations 1 et 3 peut être caractérisé par le modèle B de référence de réseau par paquets tandis que l'îlot CE dans la configuration 2 peut être caractérisé par le modèle A de référence de réseau par paquets. Un troisième cas est défini lorsqu'une largeur de bande est louée par un opérateur entre deux points d'extrémité raccordés par des commutateurs Ethernet (par exemple largeur de bande garantie de 100 Mbit/s pour un transport à 1 Gbit/s). Dans ce cas aussi, les modèles du présent Appendice peuvent être utilisés. Moyennant un accord approprié sur le niveau de service (accord SLA) entre le client et l'opérateur de réseau Ethernet, on peut supposer que le trafic interférant aux noeuds intermédiaires peut être considéré comme un trafic de plus faible priorité. Dans ce cas, l'accord SLA permet de garantir une certaine largeur de bande et d'accroître la priorité, ces deux éléments étant essentiels dans un accord SLA haut de gamme comme ceux que les opérateurs cellulaires exigeront de leurs fournisseurs Ethernet. On peut alors considérer qu'il s'agit d'un scénario dont les caractéristiques de traitement du trafic se situent entre celles du scénario 2 et celles du scénario 3. En ce qui concerne le résultat attendu, lorsqu'une largeur de bande est louée dans un réseau par paquets, la performance obtenue est normalement meilleure que dans le cas des scénarios 1 et 2.

Les éléments de base utilisés pour caractériser un réseau par paquets sont les suivants:

– Charge de trafic: statique à 60%
– Débit de paquets: 10 paquets par seconde
– Intervalles d'observation: 60 minutes
– Modèles de trafic: conformes à l'Appendice VI
– Longueur de paquet: 90 octets.

En ce qui concerne les éléments énumérés ci-dessus, on peut également utiliser les caractéristiques des signaux à 2 Mbit/s: à savoir des paquets avec une charge utile de 256 octets et un débit de paquets de 1 000 paquets/s.

Sur la base des modèles ci-dessus, les paramètres qui suivent décrivent le comportement typique du réseau par paquets dans les différents cas:

Tableau V.1 – Paramètres concernant les différents modèles de réseau

Modèle de réseau		Temps de transfert moyen (µs)	Temps de transfert minimal + seuil (Note) (x%) (µs)
Modèle A	Scénario 1	1400	800 + 1700 (95%) 800 + 800 (50%) 800 + 20 (10%) 800 + 1 (1%)
	Scénario 2	A étudier	A étudier
	Scénario 3	A étudier	A étudier
Modèle B	Scénario 1	A étudier	A étudier
	Scénario 2	A étudier	A étudier
	Scénario 3	A étudier	A étudier
NOTE – Cette valeur est la variation maximale du temps de transfert pour x% des paquets (95%, 50%, 10% et 1% sont les valeurs de référence).			

NOTE 4 – Les valeurs sont fondées sur une configuration comportant uniquement des liaisons à 100 Mbit/s. Le scénario est prudent, notamment pour les paquets dont la variation du temps de transfert est grande. Un complément d'étude est nécessaire pour confirmer et compléter le tableau.

Les tests élémentaires qui sont nécessaires pour tester le réseau dans des conditions non statiques ou en situation de défaillance sont décrits en détail à l'Appendice VI.

On peut utiliser différents débits de paquets afin de tester différentes applications et d'améliorer la performance des algorithmes de filtrage (cela s'applique dans le cas des méthodes adaptatives ou, de façon plus générale, lorsque la synchronisation est acheminée dans des paquets).

V.2 Autres modèles de réseau

D'autres modèles de réseau peuvent être définis sur la base des éléments fournis dans le présent paragraphe.

En particulier, le présent paragraphe met l'accent sur les réseaux composites pouvant prendre en charge des services d'émulation de circuits, et montre que les diverses conceptions de réseau considérées peuvent introduire de nouvelles variables concernant la transmission du rythme, la qualité de fonctionnement et les scénarios de test.

NOTE 1 – Le terme "pseudo-circuit TDM" est employé dans d'autres contextes pour décrire la transmission d'un service TDM sur un réseau par paquets; il sera employé dans le présent paragraphe dans une acception différente afin de tenir compte des aspects CES.

En particulier, les scénarios de réseau présentés ici montrent que:

– un pseudo-circuit TDM peut rester dans un même domaine et utiliser une seule technique de transport (Ethernet, IP ou MPLS);

– un pseudo-circuit TDM peut rester dans un même domaine et utiliser plusieurs techniques de transport;

– un pseudo-circuit TDM peut passer dans plusieurs domaines et utiliser une seule ou plusieurs techniques de transport;

– pour un pseudo-circuit TDM passant dans plusieurs domaines ou utilisant plusieurs techniques de transport, il peut être nécessaire de modifier la couche paquet de la fonction IWF (par exemple de passer de IP à MPLS).

Lorsqu'on utilise une méthode adaptative de récupération d'horloge pour un pseudo-circuit TDM, la diversité des équipements, la politique (par exemple en matière de qualité de service) et les méthodes de transmission peuvent avoir une incidence sur la qualité du rythme récupéré.

Les exemples donnés dans le présent paragraphe correspondent aux déploiements qui devraient être les plus courants. Toutefois, ils ne sont pas censés couvrir tous les scénarios possibles, par exemple l'emploi de tunnels d'ingénierie du trafic (piles d'étiquettes MPLS ou [b-IEEE 802.1ah]) ou de strates (procédure générique de mise en trames (GFP), T-MPLS).

Différentes technologies sont mises en oeuvre dans les réseaux déployés. Si l'on considère par exemple un pseudo-circuit TDM, un service TDM établi entre deux fonctions IWF peut être assuré en utilisant plusieurs technologies de transmission et en passant par plusieurs domaines de réseau.

Certains exemples sont donnés ci-après.

Au niveau de l'accès, on peut avoir un réseau Ethernet constitué uniquement de commutateurs Ethernet, comme décrit dans la Figure V.3.

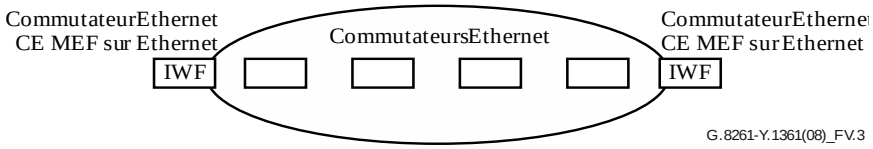


Figure V.3 – Réseau constitué uniquement de commutateurs Ethernet

NOTE 2 – Le scénario représenté dans cette figure peut être modélisé à l'aide des modèles de référence présentés dans les Figures V.1 et V.2.

On pourrait aussi avoir un réseau MPLS avec des dispositifs P et une fonction IWF au niveau PE (périphérie fournisseur), comme indiqué dans la Figure V.4.

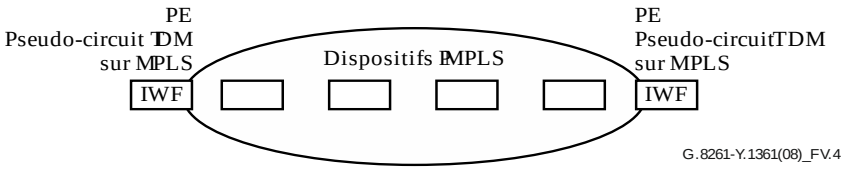


Figure V.4 – Réseau MPLS PE/P uniquement

On pourrait aussi avoir un réseau IP avec des routeurs IP et une fonction IWF dans les routeurs, comme indiqué dans la Figure V.5.

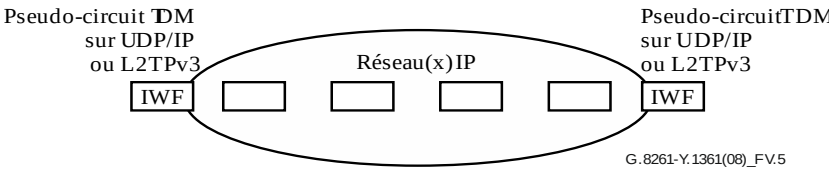


Figure V.5 – Réseau constitué uniquement de routeurs IP

NOTE 3 – Pour déterminer les caractéristiques du réseau en termes de variation du temps de transfert des paquets pour les scénarios présentés dans les Figures V.4 et V.5 (exception faite du cas où on utilise un logiciel pour l'unité de transmission), on peut utiliser les résultats obtenus à partir des modèles présentés dans les Figures V.1 et V.2.

Toutefois, les réseaux actuels sont souvent plus complexes; ils peuvent utiliser plusieurs technologies de transport, y compris dans un même domaine ou pour un même opérateur. Un pseudo-circuit TDM peut aussi passer dans plusieurs domaines.

Cinq exemples dont donnés ci-dessous.

1) Pseudo-circuit TDM MPLS passant dans le réseau MPLS d'un opérateur tiers (Figure V.6)

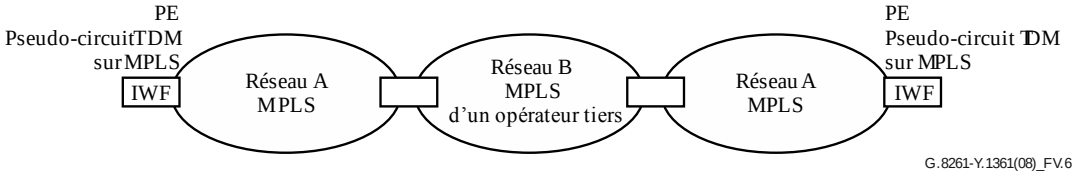


Figure V.6 – Réseau MPLS sur réseau MPLS

2) Pseudo-circuit TDM MPLS aboutissant sur un dispositif IWF d'un opérateur distinct (Figure V.7)

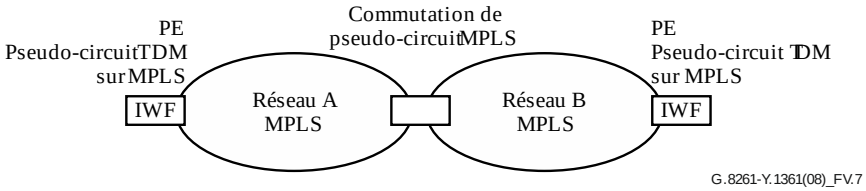


Figure V.7 – Passage dans des réseaux MPLS ou domaines distincts

NOTE 4 – Dans ce type de scénario, on peut aussi avoir un changement de couche de transport comme indiqué dans la Figure V.8, où le pseudo-circuit TDM passe de MPLS à IP. Dans ce cas, les données utiles d'encapsulation des paquets TDM ne sont pas modifiées; seule la couche de réseau PSN change.

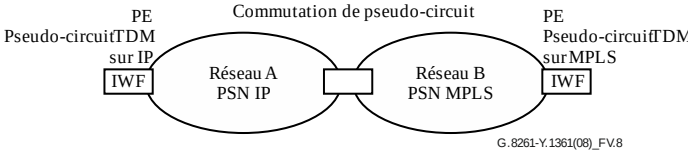


Figure V.8 – Changement de couche de réseau PSN

NOTE 5 – Il se peut que le flux TDM doive être récupéré en un point d'interconnexion entre deux domaines ou deux opérateurs, soit parce que le scénario précédent est impossible (différentes encapsulations pour le pseudo-circuit TDM), soit parce que les opérateurs ne sont pas d'accord sur la méthode d'interconnexion (à savoir concernant l'emplacement ou la gestion du noeud de commutation, l'encapsulation ou le plan de commande). C'est ce qui est représenté dans la Figure V.9.

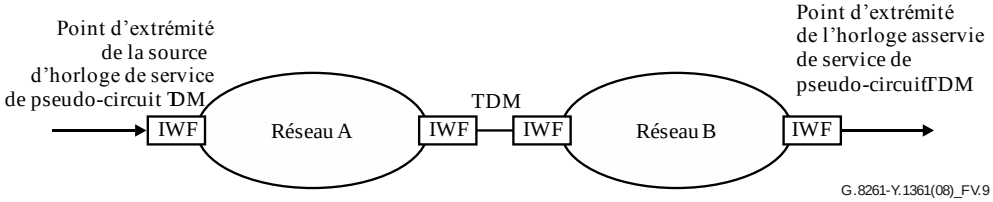


Figure V.9 – Passage dans des réseaux d'opérateurs distincts sans fonction de commutation de pseudo-circuit

3) Pseudo-circuit TDM IP utilisant un réseau MPLS, utilisant éventuellement un service L3VPN (Figure V.10)

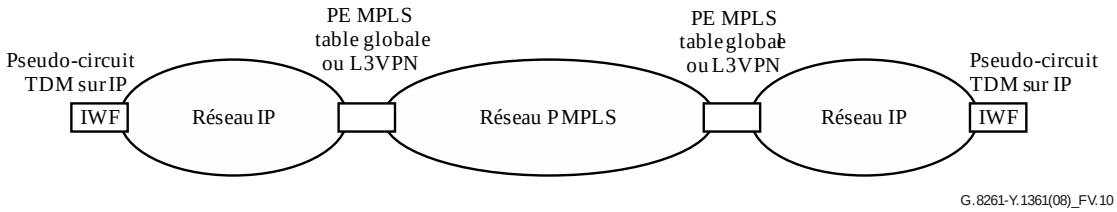


Figure V.10 – IP sur réseau MPLS

4) Pseudo-circuit TDM Ethernet utilisant un réseau MPLS pour la transmission (Figure V.11)

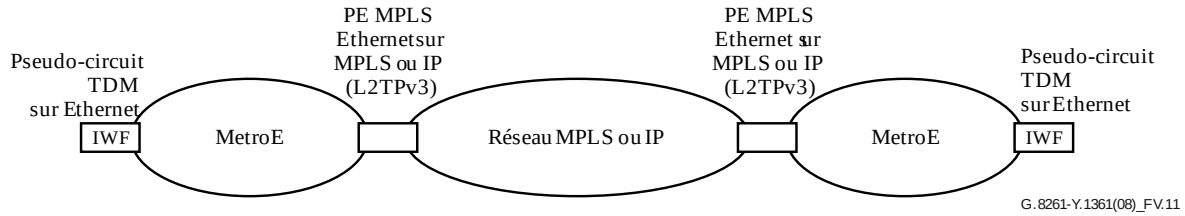


Figure V.11 – Ethernet sur réseau MPLS ou IP

5) Pseudo-circuit TDM IP utilisant un service de pseudo-circuit Ethernet sur un réseau MPLS (Figure V.12).

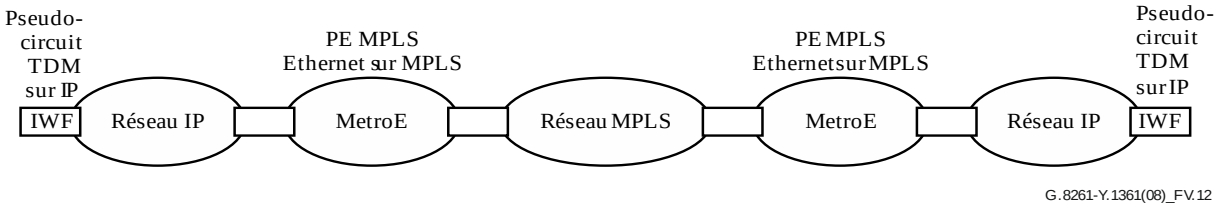


Figure V.12 – IP sur Ethernet sur réseau MPLS

Certains aspects essentiels de ces réseaux composites sont les suivants:

– Les équipements de réseau auront des caractéristiques différentes;

– La politique applicable au réseau (par exemple en matière de qualité de service) peut être différente en cas de passage dans des domaines différents;

– L'architecture pour le rythme peut être différente.

Appendice VI

Lignes directrices concernant les mesures pour les méthodes fondées sur les paquets

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

Les lignes directrices du présent Appendice ont pour objet d'aider à obtenir les caractéristiques de qualité de fonctionnement servant à établir des résultats de référence pour les comparaisons.

Lorsqu'on fait des comparaisons de la qualité de fonctionnement, il est important de veiller à ce que les configurations des systèmes comparés soient les plus similaires possible.

Les résultats des tests élémentaires décrits dans le présent Appendice ne garantissent pas que les équipements se comporteront comme prévu dans une situation de réseau complexe et dans diverses conditions de charge complexes et changeantes.

Les tests élémentaires décrits dans le présent Appendice donnent des indications utiles sur la qualité de fonctionnement des techniques d'émulation de circuit basées sur l'Ethernet, mais il est vivement recommandé de procéder à une évaluation dans des scénarios de réseau complexes qui correspondent au profil de déploiement.

VI.1 Points de référence pour les mesures

Les points de référence pour les mesures sont indiqués sur la Figure VI.1 (méthode de récupération d'horloge différentielle) et sur la Figure VI.2 (méthode de récupération d'horloge adaptative). Les deux figures du présent paragraphe correspondent à deux scénarios de test très importants. Des scénarios additionnels pourront être définis dans de futures versions de la présente Recommandation.

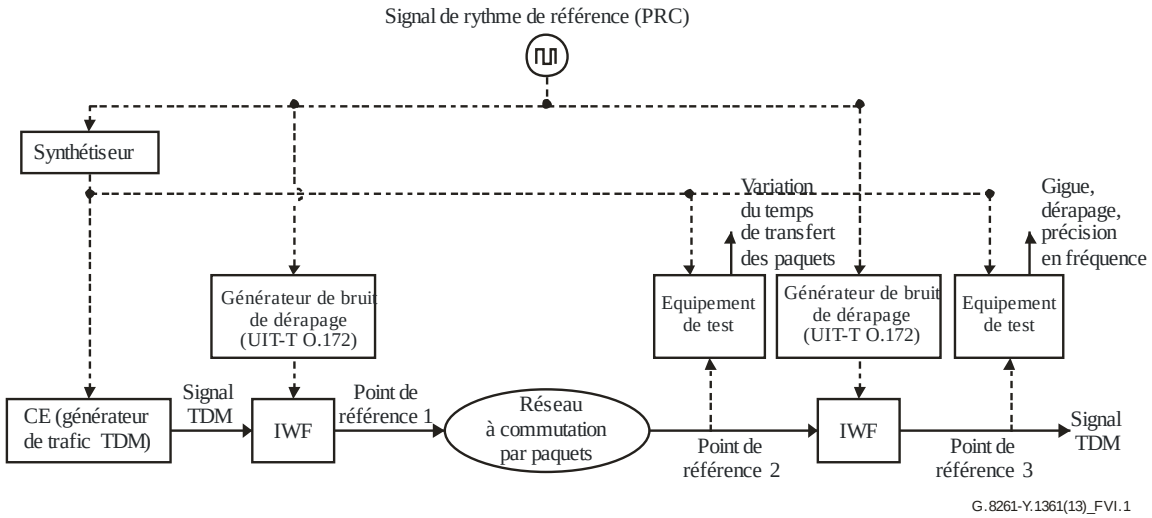
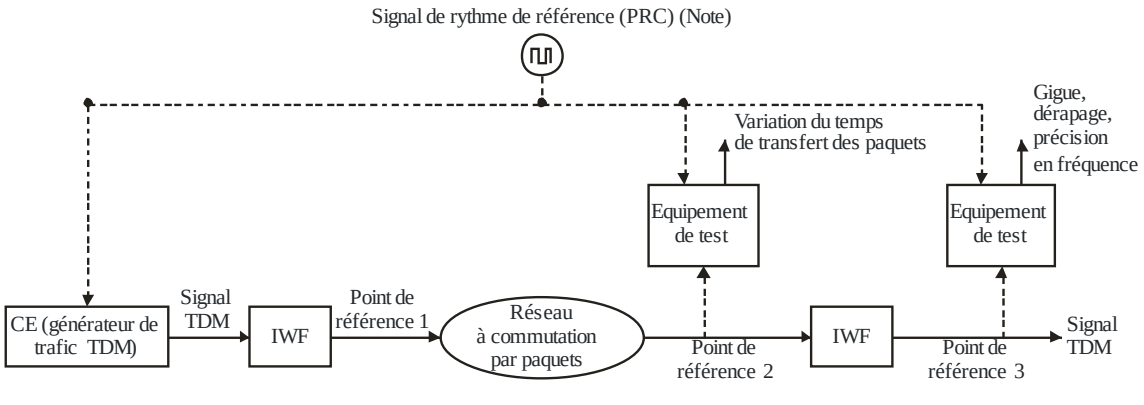


Figure VI.1 – Points de référence pour les mesures dans la méthode de récupération d'horloge différentielle



NOTE – Le signal de rythme de référence (PRC) est utilisé pour représenter l'horloge de service TDM .

Figure VI.2 – Points de référence pour les mesures dans la méthode de récupération d'horloge adaptative

NOTE 1 – Le "générateur de bruit de dérapage" présent sur la Figure VI.1 a pour objet de simuler le bruit produit par le réseau de synchronisation (comme spécifié dans la Recommandation [UIT-T O.172]). La sortie de ce générateur doit être conforme à l'interface de synchronisation spécifiée dans les Recommandations [UIT-T G.824] et [UIT-T G.823].

NOTE 2 – Le synthétiseur présent sur la Figure VI.1 est nécessaire pour modifier la fréquence des signaux TDM asynchrones (dans les limites définies dans la Recommandation [UIT-T G.703]).

NOTE 3 – Le présent Appendice contient une série de tests destinés à évaluer la performance de la récupération d'horloge pour différents types de topologies de réseau, de caractéristiques de trafic et d'altérations. Toutefois, les tests définis ici ne sont pas exhaustifs et ne couvrent pas toutes les altérations susceptibles d'être causées par le réseau par paquets. D'autres tests pourront être définis dans l'avenir, par exemple:

– Récupération d'horloge en présence d'une agrégation de liaisons (par exemple [IEEE 802.1ad]).

– Récupération d'horloge en présence d'une certaine qualité de service.

– Récupération d'horloge en présence d'un contrôle de flux (par exemple trames de pause [b-IEEE 802.3x]).

NOTE 4 – Les méthodes de mesure relatives aux signaux asynchrones sont définies à l'Appendice II de la Recommandation [UIT-T G.823].

VI.2 Caractéristiques du trafic d'entrée

Afin de tenir compte de différents types de trafic dans le réseau, deux types de modèles de trafic perturbateur sont définis (voir les paragraphes VI.2.1 et VI.2.2 ci-après).

Le modèle 1 de trafic de réseau vise à modéliser le trafic dans le réseau d'accès, où le trafic est en majorité un trafic téléphonique. Le modèle 2 de trafic de réseau vise à modéliser le trafic dans les réseaux où le trafic est en majorité un trafic de données.

Il convient de noter que le trafic CES s'ajoute au trafic perturbateur.

NOTE 1 – Lors de la réalisation des tests, il convient de préciser comment le trafic est injecté, en particulier comment le trafic est mélangé, quels sont les commutateurs Ethernet qui reçoivent le trafic, quel est le débit des paquets des flux CBR, etc. Pour ce qui est de préciser comment le trafic est mélangé, on pourrait par exemple suivre l'approche suivante:

– les différents profils de taille de paquet apparaîtront de manière aléatoire avec une probabilité de respectivement 0,8, 0,15 et 0,05. On utilisera un processus de génération aléatoire de valeurs indépendantes et obéissant à la même distribution (non corrélées) sur la base d'une certaine séquence binaire pseudo-aléatoire (PRBS) avec une période minimale de 223-1 trames.

Les paquets de taille maximale seront acheminés par rafales d'une durée comprise entre 0,1 s et 3 s. La longueur de chaque rafale sera choisie aléatoirement à l'aide d'un générateur produisant des valeurs aléatoires indépendantes et obéissant à la même distribution uniforme, comprises entre 0,1 s et 3 s.

NOTE 1A – Différentes interprétations concernant la manière dont les salves de trafic sont générées dans les modèles de trafic de réseau suivants ont été proposées. Les résultats des tests peuvent dépendre de l'interprétation particulière qui a été adoptée.

NOTE 2 – Le trafic peut être injecté en série (dans un seul port du commutateur Ethernet) ou en parallèle (dans plusieurs ports du commutateur Ethernet) et, en général, un comportement différent est attendu. Toutefois, des propriétés statistiques analogues pour la variation du temps de transfert des paquets à la sortie du réseau par paquets ont été observées dans les deux cas – série et parallèle – lorsque les statistiques relatives aux paquets avec le temps de transfert minimal n'étaient pas affectées de manière importante par les conditions de charge. Les facteurs qui peuvent avoir une incidence sur les statistiques relatives aux paquets avec le temps de transfert minimal sont notamment les suivants:

– stratégie de mise en file d'attente dans les commutateurs;
– nombre de commutateurs dans la chaîne;
– charge statique/charge non statique.

Dans certains tests élémentaires (par exemple 2, 3, 13 et 14), le trafic inséré dans le réseau à commutation par paquets peut donner lieu à une variation, aux très basses fréquences, des informations de rythme acheminées par les paquets de rythme. Dans ce cas, pour pouvoir atténuer, filtrer ou supprimer ces effets basse fréquence, une capacité de filtrage des basses fréquences peut être nécessaire dans l'horloge asservie pour les services CES, dans l'horloge PSC-A ou dans l'horloge PEC-S.

VI.2.1 Modèle 1 de trafic de réseau

D'après le 3GPP, le trafic d'accès est composé d'un trafic conversationnel (téléphonie), d'un trafic de transmission en continu (audio-vidéo), d'un trafic interactif (par exemple http) et d'un trafic d'arrière-plan (sms, courrier électronique). Dans les réseaux hertziens, on sait que le trafic est constitué à 80 à 90% de trafic conversationnel, un appel durant en moyenne de 1 à 2 minutes. Pour pouvoir modéliser ce trafic, 80% des paquets doivent être des paquets à débit constant de taille petite et fixe, les 20% restant étant des paquets de taille moyenne à maximale.

Le profil de taille des paquets est le suivant:

– 80% de la charge doit correspondre à des paquets de taille minimale (64 octets);
– 15% de la charge doit correspondre à des paquets de taille maximale (1 518 octets);
– 5% de la charge doit correspondre à des paquets de taille moyenne (576 octets).

Les paquets de taille maximale seront acheminés par rafales d'une durée comprise entre 0,1 s et 3 s.

VI.2.2 Modèle 2 de trafic de réseau

Dans ce modèle, le réseau achemine des paquets de taille plus grande que dans le modèle 1 de trafic de réseau et le trafic de données est plus important. Pour pouvoir modéliser ce trafic, 60% des paquets doivent être de taille maximale, les 40% restant étant des paquets de taille minimale à moyenne.

Le profil de taille des paquets est le suivant:

– 60% de la charge doit correspondre à des paquets de taille maximale (1 518 octets);
– 30% de la charge doit correspondre à des paquets de taille minimale (64 octets);
– 10% de la charge doit correspondre à des paquets de taille moyenne (576 octets).

Les paquets de taille maximale seront transmis par rafales d'une durée comprise entre 0,1 s et 3 s.

NOTE – Le modèle 1 de trafic est basé sur les caractéristiques de trafic types dans les réseaux d'accès sans fil utilisant les premières générations de technologies mobiles (par exemple GSM, versions WCDMA 3GPP jusqu'à la version 4). Toutefois, dans certains cas, pour optimiser l'utilisation de la largeur de bande pendant

les heures de pointe du trafic, les paquets à destination/en provenance des stations de base ayant une interface Ethernet peuvent être regroupés dans des paquets de plus grande taille et les caractéristiques de trafic correspondent alors au modèle 2 de trafic. Dans ce cas, les caractéristiques des modèles de trafic peuvent varier dans le temps.

VI.3 Topologies de test pour les méthodes adaptatives

Les topologies de test décrites ici incluent des méthodes permettant de tester les méthodes de synchronisation applicables à la présente Recommandation.

Ces tests ont été définis dans un environnement contrôlé (et non sur le terrain).

NOTE – Les tests élémentaires décrits dans le présent paragraphe concernent le domaine CES. Pour les tests dans le domaine PNT, lorsqu'on utilise des méthodes de récupération d'horloge adaptatives, la même approche pourrait être suivie, mais une certaine adaptation du montage de test pourrait être nécessaire. Un complément d'étude est nécessaire.

VI.3.1 Test de base

La topologie du test de base est représentée sur la Figure VI.3.

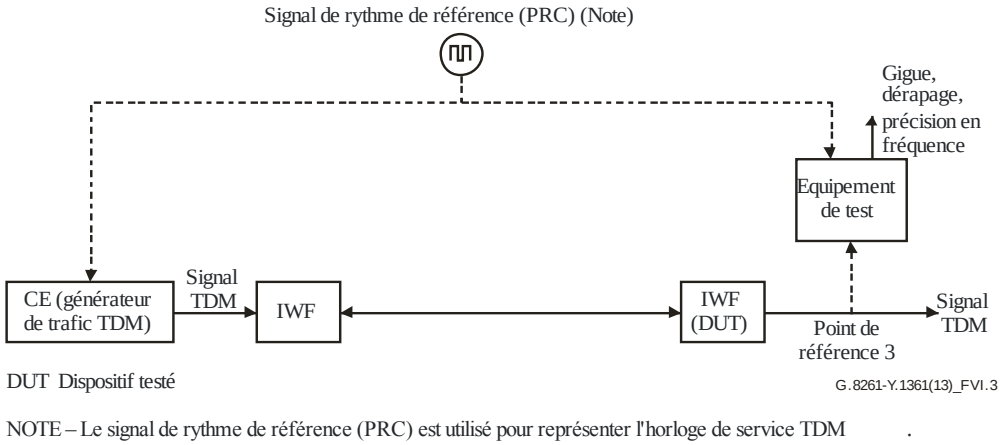


Figure VI.3 – Topologie du test de base

Le test de base doit être réalisé dans les conditions suivantes:

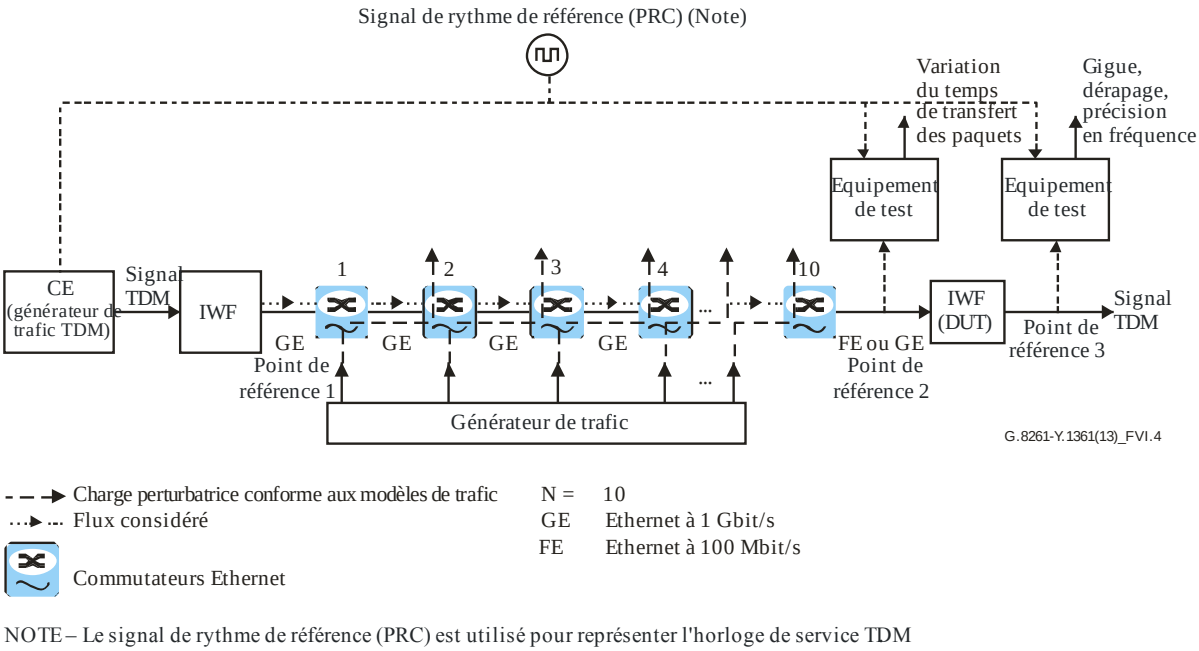
– Pas de charge de paquets

– Mesures à effectuer

- Mesure des erreurs TIE, MTIE et MRTIE (comme décrit dans les Recommandations [UIT-T G.823] et [UIT-T G.824]).
- Mesure de la précision en fréquence (la valeur de la durée d'intégration pour cette mesure dépend de l'équipement d'extrémité considéré).
- Les limites dans le réseau définies au paragraphe 9 doivent être respectées.

VI.3.2 Test de qualité de fonctionnement

La topologie du test de qualité de fonctionnement est équivalente au modèle A de l'Appendice V, avec 10 ou 9 commutateurs Ethernet gigabit (GE) et 1 commutateur Ethernet rapide (FE). Elle est représentée sur la Figure VI.4.



NOTE – Le signal de rythme de référence (PRC) est utilisé pour représenter l'horloge de service TDM

Figure VI.4 – Topologie du test de qualité de fonctionnement

Une topologie de test spécifique représentée sur la Figure VI.5 est nécessaire dans le cas d'une concentration de trafic formant un engorgement. Ce type de configuration permet de créer l'effet de battement (voir les Figures 20 et 21).

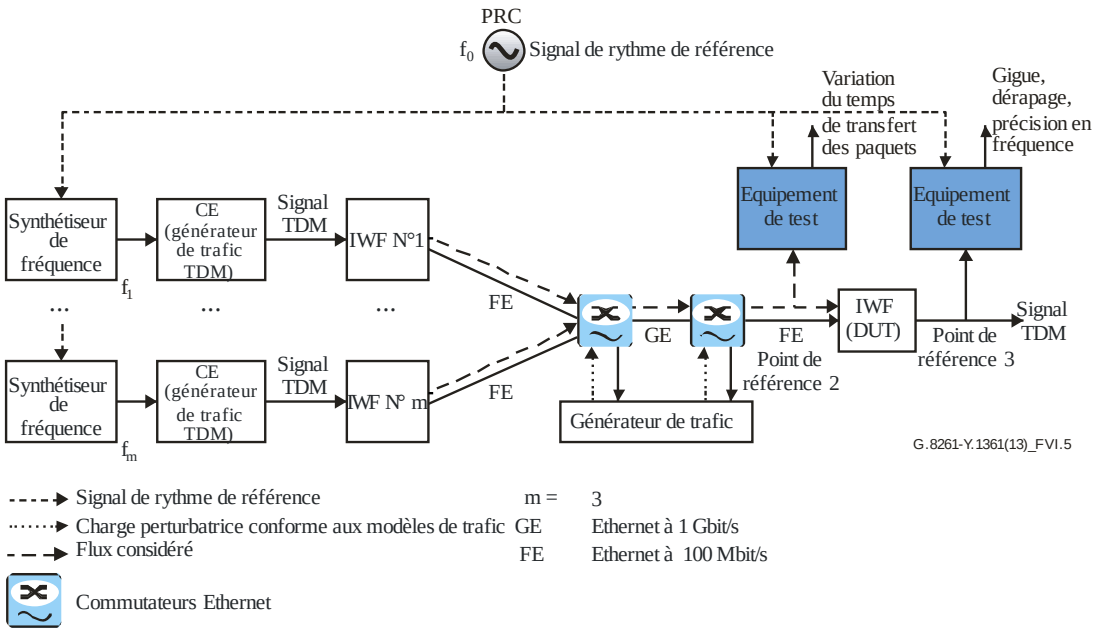


Figure VI.5 – Topologie du test de qualité de fonctionnement dans le cas d'une concentration de trafic

Il faut vérifier la stabilité de fonctionnement du dispositif testé (DUT) en présence d'événements perturbateurs susceptibles d'entraîner une désynchronisation ou une synchronisation en dehors des spécifications. Les tests élémentaires décrits dans le présent paragraphe permettent de tester le dispositif DUT en présence d'une variation de charge, de modifications du réseau et de pertes de paquets.

Pour chacun des tests élémentaires décrits dans le présent paragraphe, il convient d'effectuer les mesures suivantes:

– Mesure des erreurs TIE, MTIE et MRTIE (comme décrit dans les Recommandations [UIT-T G.823] et [UIT-T G.824]).
– Mesure de la précision en fréquence (la valeur de la durée d'intégration pour cette mesure dépend de l'équipement d'extrémité considéré).
– Mesure de la variation du temps de transfert des paquets.
– Les limites dans le réseau définies au paragraphe 9 doivent être respectées.

NOTE 1 – Le montage décrit sur la Figure VI.4 constitue le point de départ vers un scénario de test commun.

Toutefois, afin d'obtenir un environnement de test plus simple à mettre en oeuvre et de supprimer le risque d'obtenir des résultats différents en cas d'utilisation de commutateurs Ethernet de différentes technologies, une proposition est actuellement examinée: elle vise à remplacer la spécification définie sur la Figure VI.4 par un nouveau montage dans lequel, à la place des commutateurs Ethernet et du générateur de trafic, la variation du temps de transfert serait créée par un équipement de test ayant en entrée un profil de variation du temps de transfert.

Ce profil pourrait être exprimé sous la forme de "vecteurs de test" de variation du temps de transfert (séquence de test) d'une durée de 15 min, 60 min ou 24 heures. La variation du temps de transfert doit être exprimée avec la résolution de rythme appropriée.

Les séquences de test seraient fondées sur les résultats des tests effectués au moyen de la topologie de test décrite sur la Figure VI.4.

NOTE 2 – Des tests élémentaires déterministes peuvent aussi être envisagés en plus des tests élémentaires décrits dans le présent paragraphe. Un complément d'étude est nécessaire.

VI.3.2.1 Test élémentaire 1

Dans le test élémentaire 1, on modélise une charge de paquets "statique". Les conditions de réseau doivent être les suivantes:

– Charge perturbatrice de réseau de 80% pendant 1 heure. Les mesures devraient commencer après la stabilisation de la récupération d'horloge. L'Appendice II donne des précisions concernant la période de stabilisation. Le trafic d'arrière-plan perturbateur à utiliser comme charge de réseau doit être conforme au modèle 2 de trafic de réseau défini au paragraphe VI.2.2.

VI.3.2.2 Test élémentaire 2

Dans le test élémentaire 2, on modélise des variations de la charge de réseau soudaines, importantes et persistantes. Ce test permet de démontrer la stabilité en cas de changement soudain et important des conditions de réseau et d'indiquer les caractéristiques de dérapage en présence de variation du temps de transfert des paquets à basse fréquence.

Les conditions de réseau doivent être les suivantes:

– Les paquets à utiliser comme charge du réseau doivent être conformes au modèle 1 de trafic de réseau défini au paragraphe VI.2.1.
– Prévoir une période de stabilisation conforme à l'Appendice II pour permettre une stabilisation du processus de récupération d'horloge avant la réalisation des mesures.
– Commencer avec une charge perturbatrice de réseau de 80% pendant 1 heure, poursuivre avec une charge de 20% pendant 1 heure, revenir à 80% pendant 1 heure, puis 20% pendant 1 heure, puis à nouveau 80% pendant 1 heure et 20% pendant 1 heure (voir la Figure VI.6).
– Répéter le test en utilisant le modèle 2 de trafic de réseau défini au paragraphe VI.2.2 pour la charge du réseau.

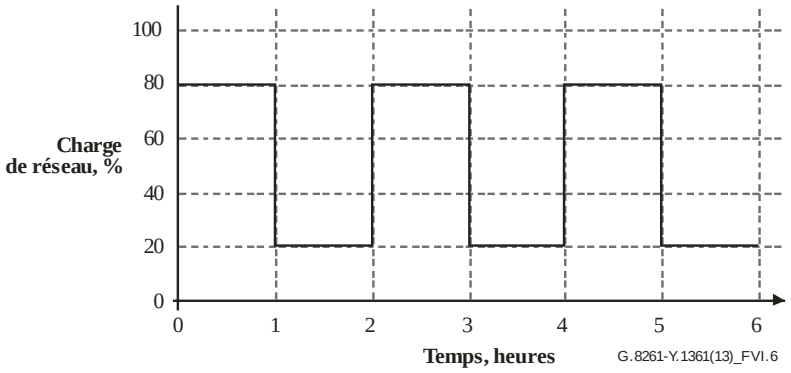


Figure VI.6 – Modulation soudaine de la charge perturbatrice de réseau

VI.3.2.3 Test élémentaire 3

Dans le test élémentaire 3, on modélise la variation lente de la charge de réseau sur une échelle de temps extrêmement longue. Ce test permet de démontrer la stabilité en cas de changement très lent des conditions de réseau et d'indiquer les caractéristiques de dérapage en présence de variation du temps de transfert des paquets à très basse fréquence.

Les conditions de réseau doivent être les suivantes:

– Les paquets à utiliser comme charge du réseau doivent être conformes au modèle 1 de trafic de réseau défini au paragraphe VI.2.1.

– Prévoir une période de stabilisation conforme à l'Appendice II pour permettre une stabilisation du processus de récupération d'horloge avant la réalisation des mesures.

– Faire varier progressivement la charge perturbatrice de réseau de 20% à 80% puis de 80% à 20% sur une période de 24 heures (voir la Figure VI.7).

– Répéter le test en utilisant le modèle 2 de trafic de réseau défini au paragraphe VI.2.2 pour la charge du réseau.

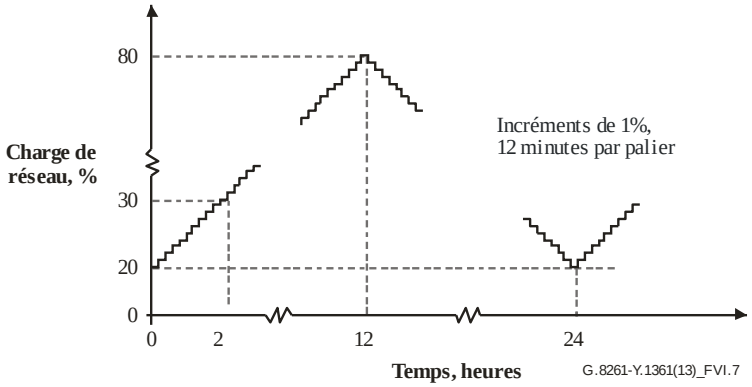


Figure VI.7 – Modulation lente de la charge de réseau

VI.3.2.4 Test élémentaire 4

Dans le test élémentaire 4, on modélise des interruptions temporaires du réseau, de durée variable. Ce test démontre la capacité de rétablissement du réseau après une interruption. Il convient de noter que l'erreur MTIE pour l'interruption de 1 000 s dépendra dans une large mesure de la qualité de l'oscillateur local et ne devrait pas être considérée comme représentative de la qualité du processus de récupération d'horloge.

Les conditions de réseau doivent être les suivantes:

– Les paquets à utiliser comme charge du réseau doivent être conformes au modèle 1 de trafic de réseau défini au paragraphe VI.2.1.

– Commencer avec 40% de charge perturbatrice de réseau. Après une période de stabilisation conforme à l'Appendice II, supprimer la connexion de réseau pendant 10 s, puis la rétablir. Prévoir une période de stabilisation conforme à l'Appendice II pour permettre une stabilisation du processus de récupération d'horloge. Répéter le test avec des interruptions de réseau de 100 s.
– Répéter le test en utilisant le modèle 2 de trafic de réseau défini au paragraphe VI.2.2 pour la charge du réseau.

VI.3.2.5 Test élémentaire 5

Dans le test élémentaire 5, on modélise un encombrement de réseau temporaire, de durée variable. Ce test permet de démontrer la capacité du réseau par paquets à surmonter un encombrement temporaire.

Les conditions de réseau doivent être les suivantes:

– Les paquets à utiliser comme charge du réseau doivent être conformes au modèle 1 de trafic de réseau défini au paragraphe VI.2.1.
– Commencer avec 40% de charge perturbatrice de réseau. Après une période de stabilisation conforme à l'Appendice II, augmenter cette charge à 100% (entraînant des temps de transfert et une perte de paquets considérables) pendant 10 s, puis supprimer cet encombrement. Prévoir une période de stabilisation conforme à l'Appendice II pour permettre une stabilisation du processus de récupération d'horloge. Répéter le test avec une période d'encombrement de 100 s.
– Répéter le test en utilisant le modèle 2 de trafic de réseau défini au paragraphe VI.2.2 pour la charge du réseau.

VI.3.2.6 Test élémentaire 6

Dans le test élémentaire 6, on modélise des changements de routage dus à des défaillances dans le réseau.

Les conditions de réseau doivent être les suivantes:

– Changer le nombre de commutateurs entre les dispositifs DUT, ce qui entraîne une variation importante du temps de transfert dans le réseau par paquets.
  - Les paquets à utiliser comme charge du réseau doivent être conformes au modèle 1 de trafic de réseau défini au paragraphe VI.2.1.
  - Commencer avec 40% de charge perturbatrice de réseau. Après une période de stabilisation conforme à l'Appendice II, rerouter le trafic de manière à contourner un commutateur sur le trajet. Pour cela, dans le montage de la Figure VI.4, on ajoute un câble allant du commutateur en position "n" au commutateur en position "n+2", et soit on utilise une bobine de fibre soit on ajoute un boîtier de dégradation afin de simuler différentes longueurs de câble (comme exemples types pour les simulations, on peut utiliser des durées de 10 µs et de 200 µs). La configuration doit être telle que le flux de trafic testé soit routé directement du commutateur en position "n" au commutateur en position "n+2" en passant par la nouvelle liaison.

    Après avoir déconnecté le câble allant du commutateur "n" au commutateur "n+2" (afin que le trafic testé soit alors routé du commutateur en position "n" au commutateur en position "n+1"), prévoir une période de stabilisation conforme à l'Appendice II pour permettre une stabilisation du processus de récupération d'horloge, puis reconnecter la liaison qui a été déconnectée afin de rétablir le trafic sur le trajet initial.
  - Commencer avec 40% de charge perturbatrice de réseau. Après une période de stabilisation conforme à l'Appendice II, rerouter le trafic de manière à contourner trois commutateurs sur le trajet. Pour cela, dans le montage de la Figure VI.4, on ajoute un

câble allant du commutateur en position "n" au commutateur en position "n+4", et soit on utilise une bobine de fibre soit on ajoute un boîtier de dégradation afin de simuler différentes longueurs de câble (comme exemples types pour les simulations, on peut utiliser des durées de 10 µs et de 200 µs). La configuration doit être telle que le flux de trafic testé soit routé directement du commutateur en position "n" au commutateur en position "n+4" en passant par la nouvelle liaison.

Après avoir déconnecté le câble allant du commutateur "n" au commutateur "n+4" (afin que le trafic testé soit alors routé du commutateur en position "n" au commutateur en position "n+1"), prévoir une période de stabilisation conforme à l'Appendice II pour permettre une stabilisation du processus de récupération d'horloge, puis reconnecter la liaison qui a été déconnectée afin de rétablir le trafic sur le trajet initial.

– Répéter le test en utilisant le modèle 2 de trafic de réseau défini au paragraphe VI.2.2 pour la charge du réseau.

VI.3.2.7 Test élémentaire 7

Dans le test élémentaire 7, on modélise l'effet de battement dû à une concentration du trafic avec des sources TDM de fréquence différente. En particulier, on utilise des flux TDM CES de signaux à 2 048 Mbit/s ou à 1 544 Mbit/s. Le montage est représenté sur la Figure VI.5 et les conditions de réseau doivent être les suivantes:

– Charge perturbatrice de réseau de 60% pendant toute la durée du test. Les mesures devraient commencer après la stabilisation de la récupération d'horloge et devraient durer 24 heures. L'Appendice II donne des précisions concernant la période de stabilisation. Le trafic d'arrière-plan perturbateur à utiliser comme charge de réseau doit être conforme au modèle 2 de trafic de réseau défini au paragraphe VI.2.2.

– Appliquer les fréquences suivantes à l'aide des synthétiseurs de fréquence pour analyser le cas de services asynchrones:

  - $f_1 = f_0$;
  - $f_2 = f_0 + 1$ millionième;
  - $f_3 = f_0 – 50$ millionièmes (signaux à 2 048 kbit/s) ou $f_0 – 32$ millionièmes (signaux à 1 544 kbit/s).

– A la sortie de la fonction IWF de droite (point de référence 3), sélectionner le signal de sortie TDM envoyé par la fonction IWF n° 0 pour les mesures relatives aux limites de gigue et de dérapage applicables et le signal de sortie TDM envoyé par la fonction IWF n° 3 pour les mesures relatives à l'horloge de service asynchrone.

– Refaire le test avec les fréquences suivantes pour analyser le cas de services asynchrones lorsque les horloges sont en mode maintien:

  - $f_1 = f_0$;
  - $f_2 = f_0 + 16$ milliardièmes;
  - $f_3 = f_0 – 50$ millionièmes (signaux à 2 048 kbit/s) ou $f_0 – 32$ millionièmes (signaux à 1 544 kbit/s).

NOTE 1 – La taille des paquets doit être la même pour tous les flux de paquets CES.

NOTE 2 – Le même scénario de test peut aussi être utilisé pour d'autres signaux TDM CES (par exemple CES DS3).

NOTE 3 – D'autres tests élémentaires basés sur ce test élémentaire (par exemple des tests non statiques avec dérive du décalage de fréquence dans le temps) seront étudiés ultérieurement.

VI.3.2.8 Test élémentaire 8

Dans le test élémentaire 8, on modélise dans les réseaux par paquets un mécanisme lié à la topologie qui permet d'allonger le temps de transfert des paquets par rapport à celui prévu sur la base de considérations liées au volume de trafic uniquement (voir le paragraphe 10.1.2.6).

Le réseau utilisé pour le test est celui représenté sur la Figure VI.4 au paragraphe VI.3.2, mais avec une seule source de "trafic perturbateur", qui est injecté au commutateur 1, traverse la totalité du réseau et sort au commutateur 10 par un port distinct de celui utilisé pour le trafic sensible au facteur temps.

– Partie A du test élémentaire

  Ce test est analogue au test élémentaire 3 (paragraphe VI.3.2.3). Il permet d'analyser le cas d'augmentations et de diminutions progressives de la charge de trafic en présence de l'effet de blocage décrit au paragraphe 10.1.2.6. On estime qu'il n'est pas nécessaire d'aller jusqu'à une fréquence aussi basse, et on procède donc à un test long analogue au test élémentaire 3 afin de démontrer la résistance à cet effet particulier.

  En utilisant le modèle 2 de trafic de réseau, commencer avec 0% de charge de trafic perturbateur. Prévoir une période de stabilisation initiale conforme à l'Appendice II. Puis augmenter la charge de trafic par incréments de 1% toutes les minutes jusqu'à une charge de 50%. Réduire ensuite la charge par incréments de 1% pour revenir à 0%.

– Partie B du test élémentaire

  Ce test est analogue au test élémentaire 2 (paragraphe VI.3.2.2). Il permet d'analyser le cas d'augmentations et de diminutions soudaines de la charge de trafic en présence de l'effet de blocage décrit au paragraphe 10.1.2.6.

  En utilisant le modèle 2 de trafic de réseau, commencer avec 0% de charge de trafic perturbateur. Prévoir une période de stabilisation initiale conforme à l'Appendice II. Passer ensuite à une charge de trafic de 50% pendant 1 heure. Répéter trois fois.

VI.4 Topologies de test pour les méthodes différentielles

La topologie de test est représentée sur la Figure VI.8.

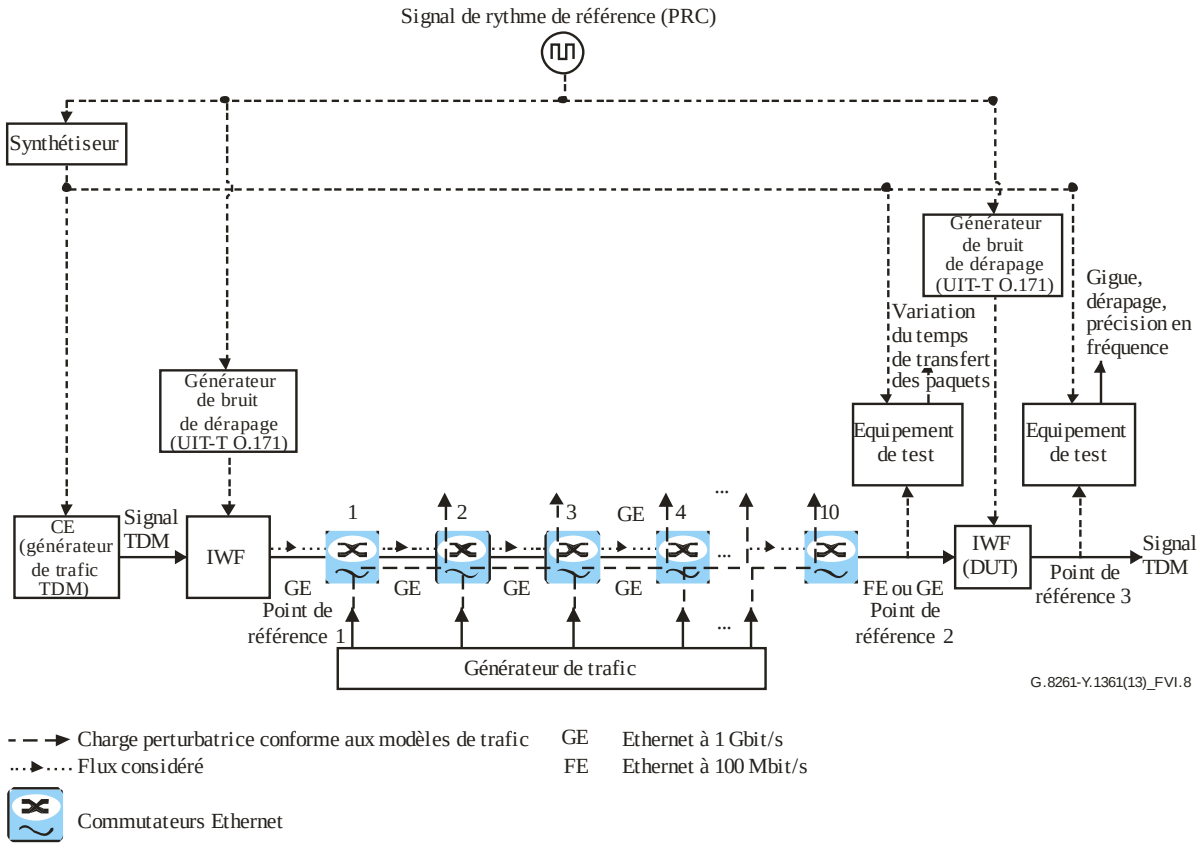


Figure VI.8 – Topologie de test de qualité de fonctionnement pour la méthode de récupération d'horloge différentielle

NOTE – Le décalage de fréquence par rapport à l'horloge PRC introduit par le synthétiseur devrait être de + (ou –) 50 millionièmes (2 048 kbit/s) et de + (ou –) 32 millionièmes (1 544 kbit/s) pour tous les tests élémentaires.

VI.4.1 Test élémentaire 9

Dans le test élémentaire 9, on modélise la qualité de fonctionnement de la méthode de récupération d'horloge différentielle dans le cas d'une charge de paquets "statique". Les conditions de réseau doivent être les suivantes:

– Charge perturbatrice de réseau de 80% pendant 1 heure. Les mesures devraient commencer après la stabilisation de la récupération d'horloge. L'Appendice II donne des précisions concernant la période de stabilisation. Le trafic d'arrière-plan perturbateur à utiliser comme charge de réseau doit être conforme au modèle 2 de trafic de réseau défini au paragraphe VI.2.2.

VI.4.2 Test élémentaire 10

Dans le test élémentaire 10, on modélise la qualité de fonctionnement de la méthode de récupération d'horloge différentielle lorsque du bruit est ajouté au signal de rythme de référence entrant dans la fonction IWF. Dans ce test, on simule le bruit généré par le réseau de synchronisation (tel que spécifié dans la Recommandation [UIT-T O.172]).

Les conditions de réseau doivent être les suivantes:

– Injecter un bruit de dérapage conforme à l'Annexe C de la Recommandation [UIT-T O.172] pour simuler le bruit de dérapage généré par le réseau de synchronisation. Les valeurs effectives du bruit de dérapage dépendent de l'application (par exemple E1, DS1). Les gabarits de bruit de dérapage applicables doivent faire l'objet d'un complément d'étude.

– Charge perturbatrice de réseau de 80% pendant 1 heure dans l'hypothèse où la récupération d'horloge est dans une situation stable. Prévoir une période de stabilisation conforme à l'Appendice II pour permettre une stabilisation du processus de récupération d'horloge avant la réalisation des mesures. Les paquets à utiliser comme charge du réseau doivent être conformes au modèle 2 de trafic de réseau défini au paragraphe VI.2.2.

VI.4.3 Test élémentaire 11

Dans le test élémentaire 11, on modélise la qualité de fonctionnement de la méthode de récupération d'horloge différentielle dans le cas d'un encombrement de réseau temporaire, de durée variable. Ce test permet de démontrer la capacité du réseau par paquets à surmonter un encombrement temporaire.

Les conditions de réseau doivent être les suivantes:

– Les paquets à utiliser comme charge du réseau doivent être conformes au modèle 1 de trafic de réseau défini au paragraphe VI.2.1.

– Commencer avec 40% de charge perturbatrice de réseau. Après une période de stabilisation conforme à l'Appendice II, augmenter cette charge à 100% (entraînant des temps de transfert et une perte de paquets considérables) pendant 10 s, puis supprimer cet encombrement. Prévoir une période de stabilisation conforme à l'Appendice II pour permettre une stabilisation du processus de récupération d'horloge. Répéter le test avec une période d'encombrement de 100 s.

NOTE – Pour la méthode différentielle, il a également été déterminé que des tests seraient utiles dans les cas suivants: maintien (perte du signal de rythme de référence), différents niveaux de qualité de service. Un complément d'étude est nécessaire.

VI.5 Test pour les protocoles bidirectionnels

Les topologies de test décrites ici incluent des méthodes permettant de tester les méthodes de synchronisation bidirectionnelles (par exemple protocoles de distribution du temps) applicables à la présente Recommandation.

Ces tests ont été définis dans un environnement contrôlé (et non sur le terrain).

VI.5.1 Test de base

La topologie du test de base est représentée sur la Figure VI.9.

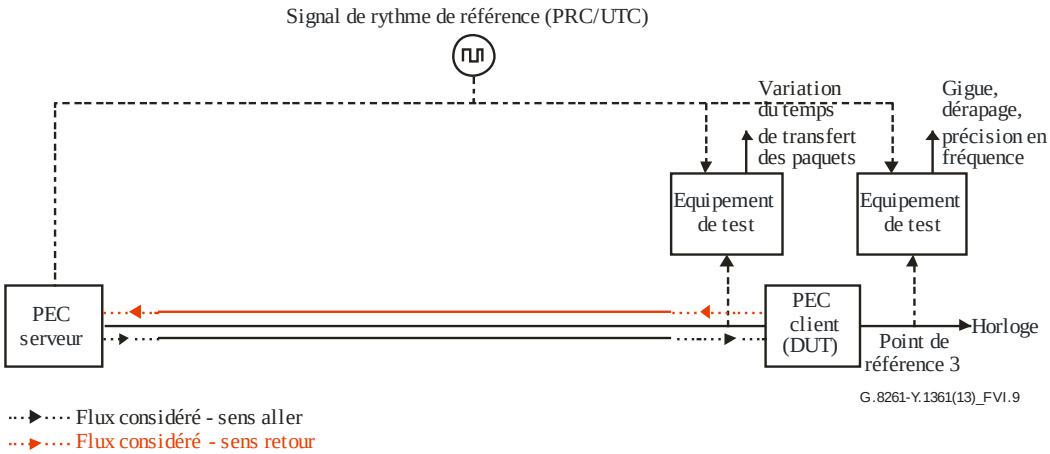


Figure VI.9 – Topologie du test de base dans le cas bidirectionnel

Le test de base doit être réalisé dans les conditions suivantes:

– Pas de charge de paquets;

– Mesures à effectuer:

  - mesure des erreurs TIE, MTIE et MRTIE (comme décrit dans les Recommandations [UIT-T G.823] et [UIT-T G.824]);
  - mesure de la précision en fréquence (la valeur de la durée d'intégration pour cette mesure dépend de l'équipement d'extrémité considéré);
  - mesure de la précision TOD de crête à crête;
  - les limites dans le réseau définies au paragraphe 9 doivent être respectées.

VI.5.2 Test de qualité de fonctionnement

La topologie du test de qualité de fonctionnement est équivalente au modèle A de l'Appendice V, avec 10 ou 9 commutateurs GE et 1 commutateur FE. Elle est représentée sur la Figure VI.10.

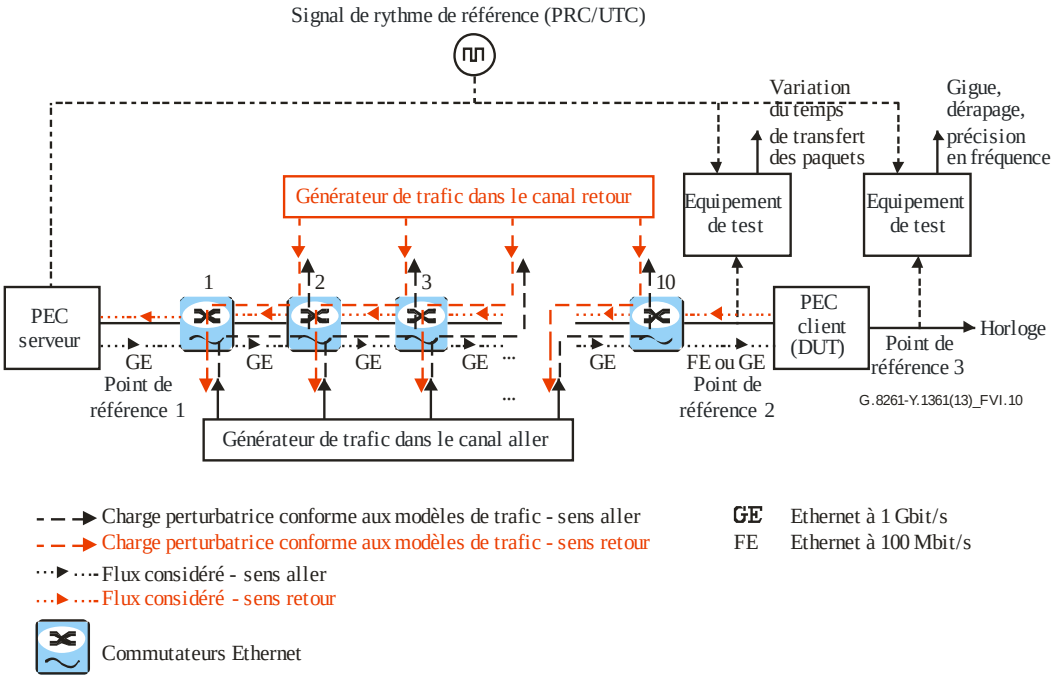


Figure VI.10 – Topologie du test de qualité de fonctionnement pour les protocoles bidirectionnels

Il faut vérifier la stabilité de fonctionnement du dispositif DUT en présence d'événements perturbateurs susceptibles d'entraîner une désynchronisation ou une synchronisation en dehors des spécifications. Les tests élémentaires décrits dans le présent paragraphe permettent de tester le dispositif DUT en présence d'une variation de charge, de modifications du réseau et de pertes de paquets.

Pour chacun des tests élémentaires décrits dans le présent paragraphe, il convient d'effectuer les mesures suivantes:

– Mesure des erreurs TIE, MTIE et MRTIE (comme décrit dans les Recommandations [UIT-T G.823] et [UIT-T G.824]).

– Mesure de la précision en fréquence (la valeur de la durée d'intégration pour cette mesure dépend de l'équipement d'extrémité considéré).

– Mesure de la variation du temps de transfert des paquets.

– Mesure de la précision TOD de crête à crête.

– Les limites dans le réseau définies au paragraphe 9 doivent être respectées.

NOTE 1 – Le montage décrit sur la Figure VI.10 constitue le point de départ vers un scénario de test commun.

Toutefois, afin d'obtenir un environnement de test plus simple à mettre en oeuvre et de supprimer le risque d'obtenir des résultats différents en cas d'utilisation de commutateurs Ethernet de différentes technologies, une proposition est actuellement examinée: elle vise à remplacer la spécification définie sur la Figure VI.10 par un nouveau montage dans lequel, à la place des commutateurs Ethernet et du générateur de trafic, la variation du temps de transfert serait créée par un équipement de test ayant en entrée un profil de variation du temps de transfert.

Ce profil pourrait être exprimé sous la forme de "vecteurs de test" de variation du temps de transfert (séquence de test) d'une durée de 15 min, 60 min ou 24 heures. La variation du temps de transfert doit être exprimée avec la résolution de rythme appropriée.

Les séquences de test seraient fondées sur les résultats des tests effectués au moyen de la topologie de test décrite sur la Figure VI.10.

NOTE 2 – Des tests élémentaires déterministes peuvent aussi être envisagés en plus des tests élémentaires décrits dans le présent paragraphe. Un complément d'étude est nécessaire.

VI.5.2.1 Caractéristiques du trafic d'entrée

Les modèles 1 et 2 de trafic définis aux paragraphes VI.2.1 et VI.2.2 sont réutilisés ici pour les tests dans le cas bidirectionnel.

NOTE – La définition de conditions de test spécifiques dans le cas asymétrique nécessite un complément d'étude. Dans un montage simple, on pourrait aussi envisager un temps de transfert constant dans un sens donné.

VI.5.2.2 Test élémentaire 12

Dans le test élémentaire 12, on modélise une charge de paquets "statique". Les conditions de réseau doivent être les suivantes:

– Charge perturbatrice de réseau de 80% dans le sens aller (serveur vers client) et de 20% dans le sens retour (client vers serveur) pendant 1 heure. Les mesures devraient commencer après la stabilisation de la récupération d'horloge. L'Appendice II donne des précisions concernant la période de stabilisation. Le trafic d'arrière-plan perturbateur à utiliser comme charge de réseau doit être conforme au modèle 2 de trafic de réseau défini au paragraphe VI.2.2.

VI.5.2.3 Test élémentaire 13

Dans le test élémentaire 13, on modélise des variations de la charge de réseau soudaines, importantes et persistantes. Ce test permet de démontrer la stabilité en cas de changement soudain et important des conditions de réseau et d'indiquer les caractéristiques de dérapage en présence de variation du temps de transfert des paquets à basse fréquence.

Les conditions de réseau doivent être les suivantes:

– Les paquets à utiliser comme charge du réseau doivent être conformes au modèle 1 de trafic de réseau défini au paragraphe VI.2.1.

– Prévoir une période de stabilisation conforme à l'Appendice II pour permettre une stabilisation du processus de récupération d'horloge avant la réalisation des mesures.

– Dans le sens **aller**: commencer avec une charge perturbatrice de réseau de 80% pendant 1 heure, poursuivre avec une charge de 20% pendant 1 heure, revenir à 80% pendant 1 heure, puis 20% pendant 1 heure, puis à nouveau 80% pendant 1 heure et 20% pendant 1 heure. Simultanément, dans le sens **retour**: commencer avec une charge perturbatrice de réseau de 50% pendant 1,5 heure, poursuivre avec une charge de 10% pendant 1 heure, revenir à 50% pendant 1 heure, puis 10% pendant 1 heure, puis à nouveau 50% pendant 1 heure et 10% pendant 0,5 heure (voir la Figure VI.11).

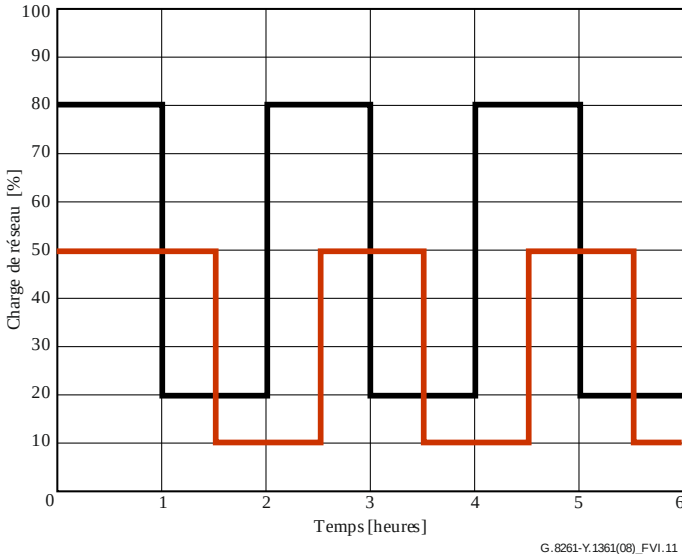


Figure VI.11 – Modulation soudaine de la charge perturbatrice de réseau dans le cas bidirectionnel

– Répéter le test en utilisant le modèle 2 de trafic de réseau défini au paragraphe VI.2.2 pour la charge du réseau.

NOTE – Dans le montage, les générateurs de trafic sont indépendants, de sorte qu'une dérive dans le temps de la forme du trafic représentée sur la Figure VI.11 est possible.

VI.5.2.4 Test élémentaire 14

Dans le test élémentaire 14, on modélise la variation lente de la charge de réseau sur une échelle de temps extrêmement longue. Ce test permet de démontrer la stabilité en cas de changement très lent des conditions de réseau et d'indiquer les caractéristiques de dérapage en présence de variation du temps de transfert des paquets à très basse fréquence.

Les conditions de réseau doivent être les suivantes:

– Les paquets à utiliser comme charge du réseau doivent être conformes au modèle 1 de trafic de réseau défini au paragraphe VI.2.1.

– Prévoir une période de stabilisation conforme à l'Appendice II pour permettre une stabilisation du processus de récupération d'horloge avant la réalisation des mesures.

– Dans le sens **aller**: faire varier progressivement la charge perturbatrice de réseau de 20% à 80% puis de 80% à 20% sur une période de 24 heures. Simultanément, dans le sens **retour**: faire varier progressivement la charge perturbatrice de réseau de 10% à 55% puis de 55% à 10% sur une période de 24 heures (voir la Figure VI.12).

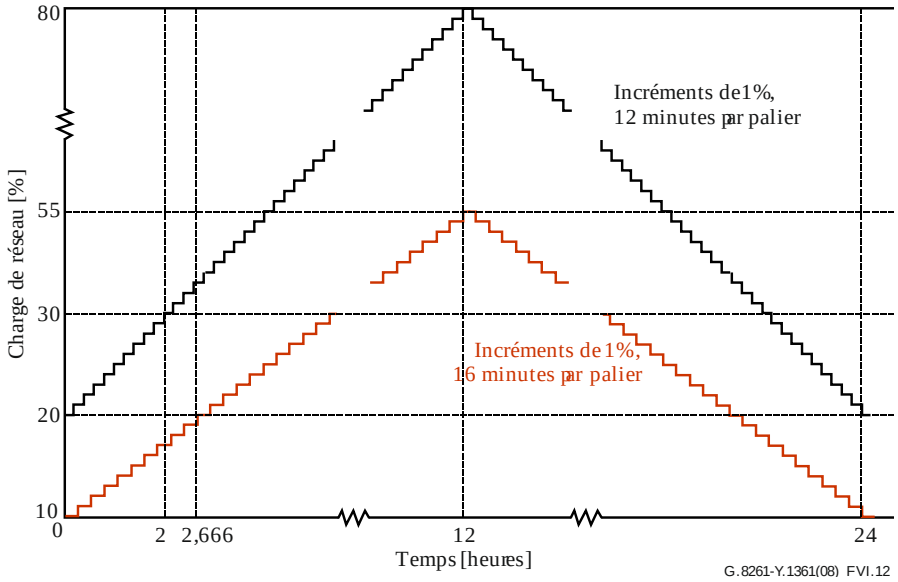


Figure VI.12 – Modulation lente de la charge de réseau dans le cas bidirectionnel

– Répéter le test en utilisant le modèle 2 de trafic de réseau défini au paragraphe VI.2.2 pour la charge du réseau.

VI.5.2.5 Test élémentaire 15

Dans le test élémentaire 15, on modélise des interruptions temporaires du réseau, de durée variable. Ce test démontre la capacité de rétablissement du réseau après une interruption. Il convient de noter que l'erreur MTIE pour l'interruption de 1 000 s dépendra dans une large mesure de la qualité de l'oscillateur local et ne devrait pas être considérée comme représentative de la qualité du processus de récupération d'horloge.

Les conditions de réseau doivent être les suivantes:

– Les paquets à utiliser comme charge du réseau doivent être conformes au modèle 1 de trafic de réseau défini au paragraphe VI.2.1.

– Commencer avec 40% de charge perturbatrice de réseau dans le sens **aller** et 30% de charge dans le sens **retour**. Après une période de stabilisation conforme à l'Appendice II, supprimer la connexion de réseau pendant 10 s, puis la rétablir. Prévoir une période de stabilisation conforme à l'Appendice II pour permettre une stabilisation du processus de récupération d'horloge. Répéter le test avec des interruptions de réseau de 100 s.

– Répéter le test en utilisant le modèle 2 de trafic de réseau défini au paragraphe VI.2.2 pour la charge du réseau.

VI.5.2.6 Test élémentaire 16

Dans le test élémentaire 16, on modélise un encombrement de réseau temporaire, de durée variable. Ce test permet de démontrer la capacité du réseau par paquets à surmonter un encombrement temporaire.

Les conditions de réseau doivent être les suivantes:

– Les paquets à utiliser comme charge du réseau doivent être conformes au modèle 1 de trafic de réseau défini au paragraphe VI.2.1.

– Commencer avec 40% de charge perturbatrice de réseau dans le sens **aller** et 30% de charge dans le sens **retour**. Après une période de stabilisation conforme à l'Appendice II, augmenter cette charge à 100% dans les deux sens (entraînant des temps de transfert et une perte de paquets considérables) pendant 10 s, puis supprimer cet encombrement. Prévoir une période

de stabilisation conforme à l'Appendice II pour permettre une stabilisation du processus de récupération d'horloge. Répéter le test avec une période d'encombrement de 100 s.

– Répéter le test en utilisant le modèle 2 de trafic de réseau défini au paragraphe VI.2.2 pour la charge du réseau

VI.5.2.7 Test élémentaire 17

Dans le test élémentaire 17, on modélise des changements de routage dus à des défaillances dans le réseau.

Les conditions de réseau doivent être les suivantes:

- Changer le nombre de commutateurs entre les dispositifs DUT, ce qui entraîne une variation importante du temps de transfert dans le réseau par paquets. Les paquets à utiliser comme charge du réseau doivent être conformes au modèle 1 de trafic de réseau défini au paragraphe VI.2.1:
  - Dans le montage de la Figure VI.10, ajouter un câble allant du commutateur en position "n" au commutateur en position " n + 2" (la Figure VI.13 montre un exemple où n = 1 et le commutateur 2 est contourné). Ainsi, le trafic est rerouté (dans les deux sens) de manière à contourner un commutateur sur le trajet. Par ailleurs, soit on utilise une bobine de fibre soit on ajoute un boîtier de dégradation afin de simuler différentes longueurs de câble (comme exemples types pour les simulations, on peut utiliser des durées de 10 µs et de 200 µs). La configuration doit être telle que le flux de trafic testé soit routé directement du commutateur en position "n" au commutateur en position "n + 2" en passant par la nouvelle liaison.
  - Commencer avec 40% de charge perturbatrice de réseau dans le sens aller et 30% de charge dans le sens retour.
  - Après une période de stabilisation conforme à l'Appendice II, déconnecter le câble allant du commutateur "n" au commutateur "n + 2" afin d'obliger le trafic testé à passer par le commutateur en position "n + 1" (la Figure VI.14 montre un exemple où n = 1, le câble allant du commutateur 1 au commutateur 3 est supprimé, et la connexion au commutateur 2 est rétablie afin que le trafic passe par le commutateur 2).
  - Prévoir une période de stabilisation conforme à l'Appendice II pour permettre une stabilisation du processus de récupération d'horloge puis reconnecter la liaison qui a été déconnectée afin de rétablir le trafic sur le trajet initial.
- Répéter le test afin de créer une variation de phase plus importante:
  - Dans le montage de la Figure VI.10, ajouter un câble allant du commutateur en position "n" au commutateur en position "n + 4". Ainsi, le trafic est rerouté (dans les deux sens) de manière à contourner trois commutateurs sur le trajet. Par ailleurs, soit on utilise une bobine de fibre soit on ajoute un boîtier de dégradation afin de simuler différentes longueurs de câble (comme exemples types pour les simulations, on peut utiliser des durées de 10 µs et de 200 µs). La configuration doit être telle que le flux de trafic testé soit routé directement du commutateur en position "n" au commutateur en position "n + 4" en passant par la nouvelle liaison.
  - Appliquer 40% de charge perturbatrice de réseau dans le sens aller et 30% de charge dans le sens retour.
  - Après une période de stabilisation conforme à l'Appendice II, déconnecter le câble allant du commutateur "n" au commutateur "n + 4" (afin d'obliger le trafic testé à passer par le commutateur en position "n + 1").
  - Prévoir une période de stabilisation conforme à l'Appendice II pour permettre une stabilisation du processus de récupération d'horloge puis reconnecter la liaison qui a été déconnectée afin de rétablir le trafic sur le trajet initial.

- Répéter le test en utilisant le modèle 2 de trafic de réseau défini au paragraphe VI.2.2 pour la charge du réseau.

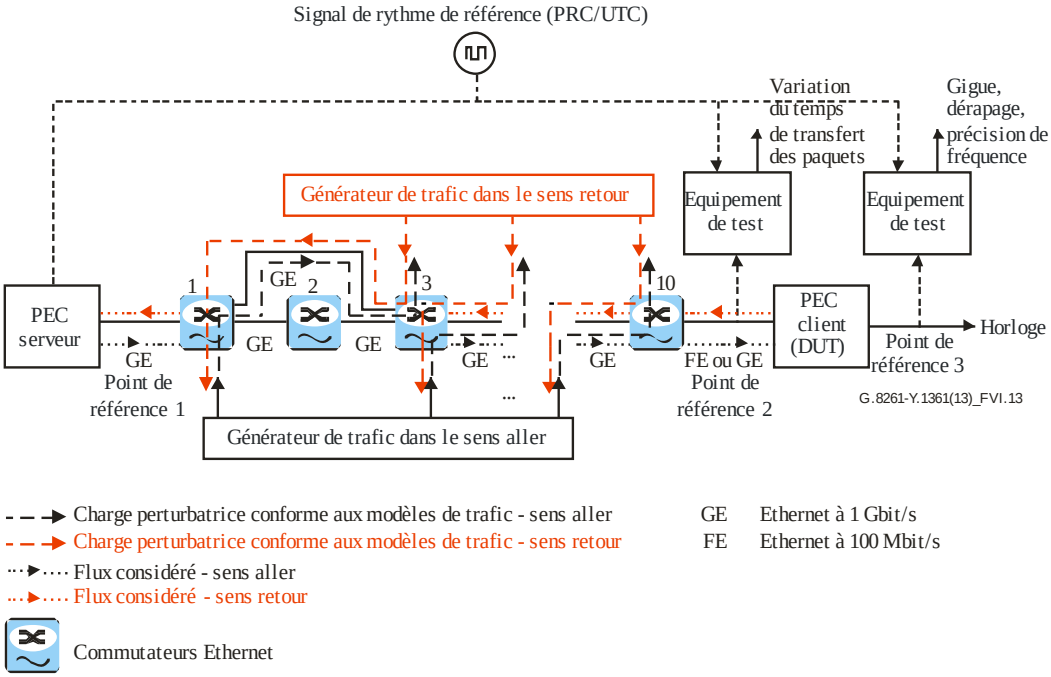


Figure VI.13 – Détails concernant le test élémentaire 17

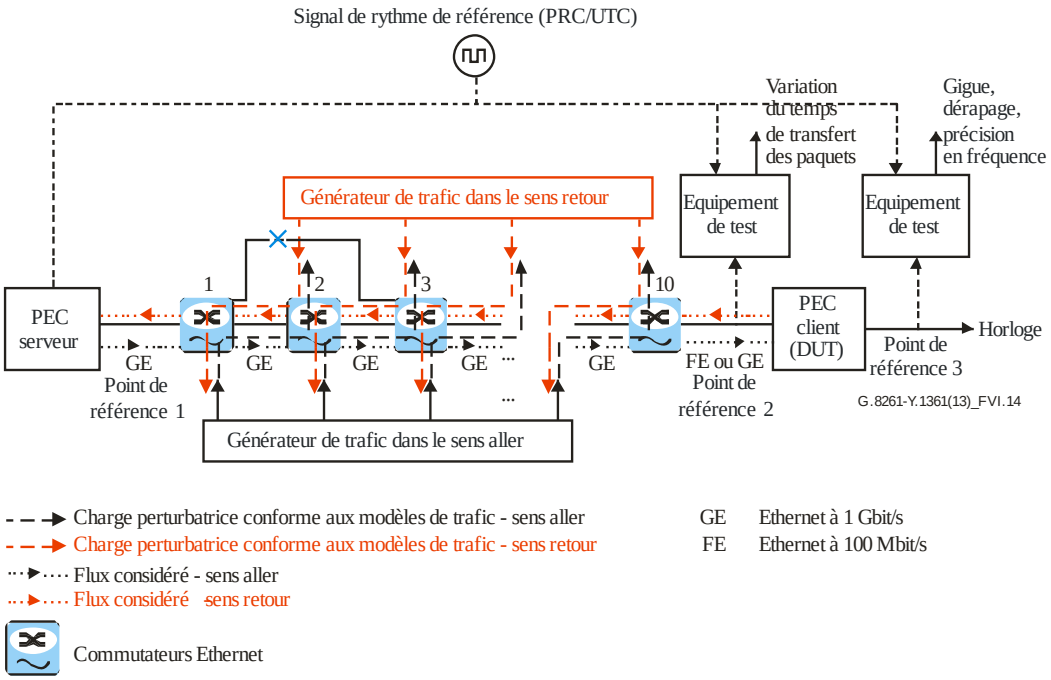


Figure VI.14 – Détails concernant le test élémentaire 17

Appendice VII

Limites de dérapage dans le cas 1 de déploiement

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

VII.1 Limites pour l'interface à 2 048 kbit/s

Le Tableau 1 a été calculé compte tenu des considérations suivantes fondées sur l'Annexe A de la Recommandation [UIT-T G.823].

Le bilan de dérapage peut être subdivisé en trois composantes principales:

– Dérapage diurne;

– Mappage asynchrone à 2 048 kbit/s;

– Dérapage causé par les transitoires et le bruit d'horloge.

Dérapage diurne

Il n'y a pas de raison de le modifier et son amplitude est faible, 1 µs.

Mappage asynchrone à 2 048 kbit/s

On a utilisé une loi quadratique (RMS) pour calculer l'accumulation des 2UI par îlot, de sorte que l'accumulation pour trois îlots sera de √3 * 2UI, à savoir 1,7 µs, au lieu des 2 µs dans le modèle de réseau initial.

Dérapage causé par les transitoires et le bruit d'horloge

Conformément au paragraphe I.1.5 de la Recommandation [UIT-T G.823], le processus d'accumulation peut être différent suivant l'amplitude du décalage de fréquence, entraînant des effets corrélés ou non corrélés. Il a été convenu que l'accumulation de bruit suit une loi quadratique. Autrement dit, chacun des quatre îlots est responsable d'une moitié du bilan de dérapage, comme indiqué actuellement dans cette Recommandation. Dans le nouveau modèle de réseau, les trois îlots SDH sont responsables de √3 fois le bilan d'un îlot SDH conformément à la loi quadratique d'accumulation.

Le dérapage total attribué par la Recommandation [UIT-T G.823] est de 15 µs, les résultats de simulations faisant état d'une valeur de 12,6 µs.

La loi d'accumulation entre SDH et CES est différente de celle qui est applicable entre îlots SDH.

Le bruit produit dans un îlot SDH correspond aux événements liés aux pointeurs VC12, qui sont peu fréquents, au moins avec une désynchronisation comprise entre 10^{-9} et 10^{-10}, comme indiqué au paragraphe I.1.5 de la Recommandation [UIT-T G.823]; il en résulte que la probabilité est très faible pour que des événements liés aux pointeurs se produisent simultanément dans plusieurs îlots.

En ce qui concerne le bruit dans un îlot CES, il est très différent de celui qui est observé dans les îlots SDH. Ce bruit résulte de la variation du temps de transfert des paquets.

Comme il n'a pas été démontré que la loi quadratique d'accumulation s'applique entre les îlots CES et SDH, il est proposé que le nouveau modèle repose sur l'hypothèse d'une loi quadratique d'accumulation pour les trois îlots SDH et d'une accumulation linéaire pour l'îlot CES.

Ainsi, le bilan de dérapage qui peut être attribué à l'îlot CES est le suivant:

18 – (1(dérapage diurne) + √3 * 2UI(3 mappages VC12) + 12,6/2 * √3(3 îlots SDH) = 4,3 µs.

Un dérapage de 4,3 µs est alors attribué à l'îlot CES pendant une période de 24 heures et le gabarit de dérapage est réduit d'un facteur 4,3/18 (0,24) pour les autres plateaux déduits du Tableau 2 de la Recommandation [UIT-T G.823].

VII.2 Limites pour l'interface à 1 544 kbit/s

Le modèle de référence de dérapage à 1 544 kbit/s est spécifié dans la Recommandation [UIT-T G.824]; il est constitué de huit îlots SDH. Les composantes du bilan de dérapage incluent la synchronisation des commutateurs, le mappage de DS1 à DS3, le mappage de DS1 à VC-11, le dérapage diurne (effets de la température sur les fibres), le bruit de synchronisation des éléments de réseau et le dérapage lié aux pointeurs aléatoires. Le bilan total de 18 microsecondes (sur 24 heures) permet un dérapage de 14,3 microsecondes entre commutateurs (voir la Figure A.1 de la Recommandation [UIT-T G.824]) et une subdivision a été opérée afin de tenir compte du remplacement d'un îlot SDH par un îlot CES. Dans la procédure suivie, on part de l'hypothèse que l'accumulation du dérapage dû au mappage, du bruit de synchronisation et du dérapage dû aux pointeurs est fondée sur une addition quadratique. Compte tenu de cette addition, la portion des 18 microsecondes (à savoir 12,7, voir le Tableau VII.1 ci-dessous) disponible pour chacun des huit îlots est désormais de 4,5 microsecondes (12,7/√8).

Tableau VII.1 – Valeurs attribuées aux composantes du bilan de dérapage à 1 544 kbit/s

Composante du bilan	Valeur attribuée	Portion disponible pour la subdivision
Synchronisation des commutateurs	3,7	
Mappage E11-E31	0,3	
Mappage de E11 à VC-11	2,6	2,6
Dérapage diurne (température)	1,3	
Bruit de synchronisation des éléments de réseau/pointeurs	10,1	10,1
Total	18,0	12,7

Le dérapage résultant pour chaque îlot en termes d'erreur MTIE pour toutes les durées d'observation jusqu'à 24 heures est donné au Tableau 2. Ce tableau est fondé sur une réduction uniforme de la spécification d'interface figurant au Tableau 2 de la Recommandation [UIT-T G.824]. Il est à noter que ce tableau tient également compte des exigences de gigue due au mappage pour un seul îlot VC-11, 0,7 UIpp comme spécifié dans la Recommandation [b-UIT-T G.783] (voir le Tableau 15-3 de la Recommandation [b-UIT-T G.783]).

Dans les études concernant l'accumulation de dérapage qui ont été réalisées afin de déterminer les composantes de dérapage SDH, de nombreuses simulations ont été faites afin de vérifier que l'exigence de 18 microsecondes peut être respectée dans le modèle de référence SDH. D'autres simulations pourront être nécessaires lorsque les mappages et les modèles de réseau CES auront été spécifiés avec plus de détails. Les chiffres donnés pourront être révisés compte tenu des résultats de ces nouvelles simulations.

Appendice VIII

Messages d'état de synchronisation dans la couche physique Ethernet synchrone

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

Les messages SSM pour l'Ethernet synchrone sont définis en détail dans la Recommandation [UIT-T G.8264].

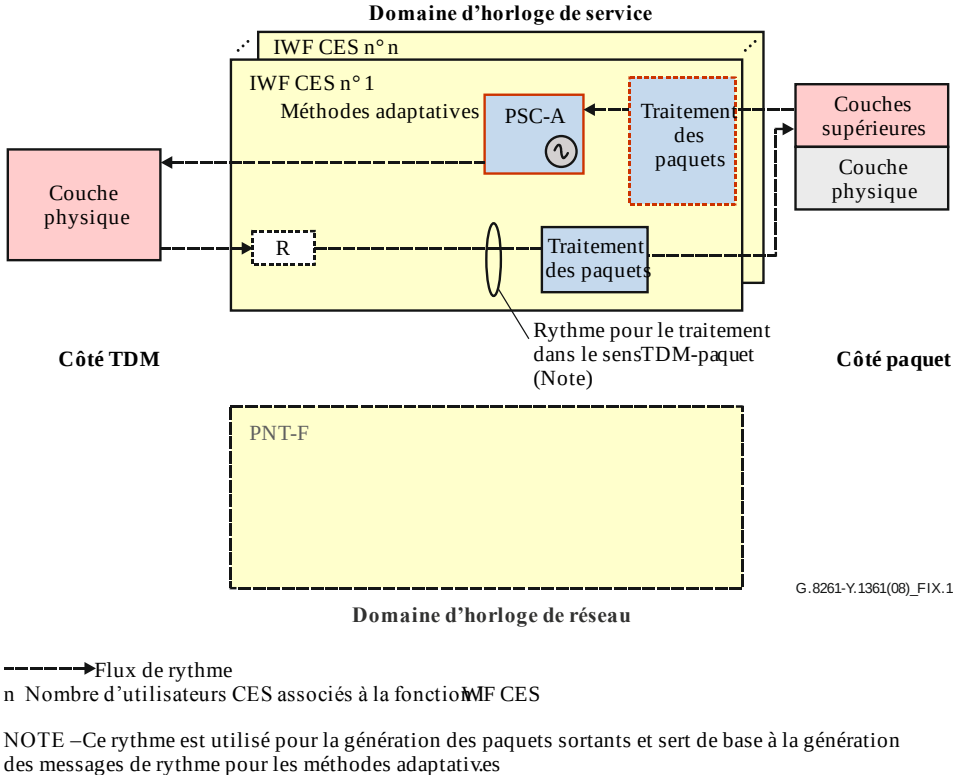
Appendice IX

Exemples de fonction IWF

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

On trouvera ci-après des exemples d'applications types de la fonction IWF.

La Figure IX.1 illustre le cas où on utilise une méthode adaptative pour le rythme de l'horloge de service et aucune fonction PNT n'est mise en oeuvre (pas d'accès à l'horloge de réseau).



NOTE – Ce rythme est utilisé pour la génération des paquets sortants et sert de base à la génération des messages de rythme pour les méthodes adaptatives.

Figure IX.1 – Méthode adaptative dans la fonction IWF CES: pas de fonction PNT

Dans les figures qui suivent, on présente un exemple des domaines de service et de réseau lorsque la récupération d'horloge TDM se fait au moyen d'une méthode différentielle dans laquelle la référence commune est distribuée via l'Ethernet synchrone.

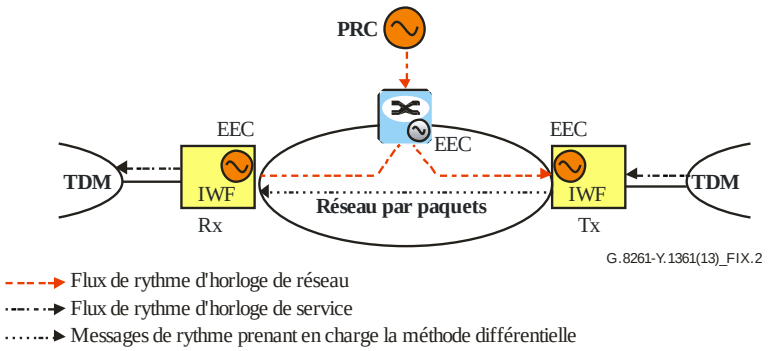


Figure IX.2 – Exemple de méthode différentielle utilisant une référence commune distribuée sur l'Ethernet synchrone

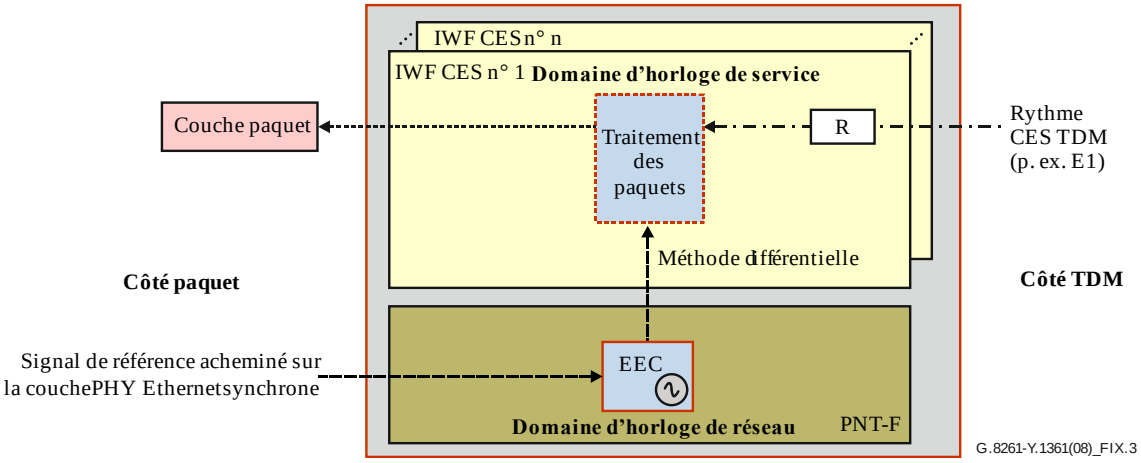
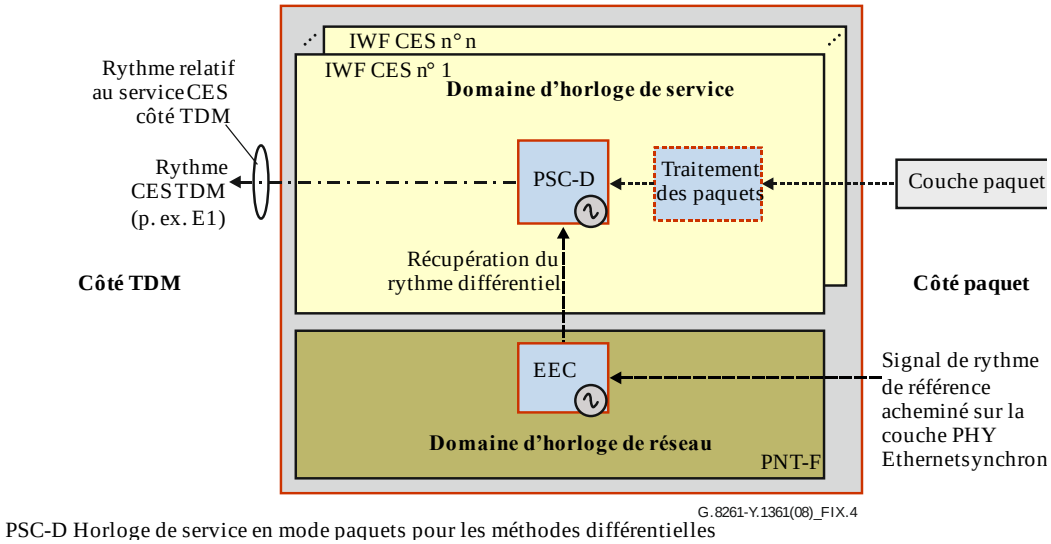


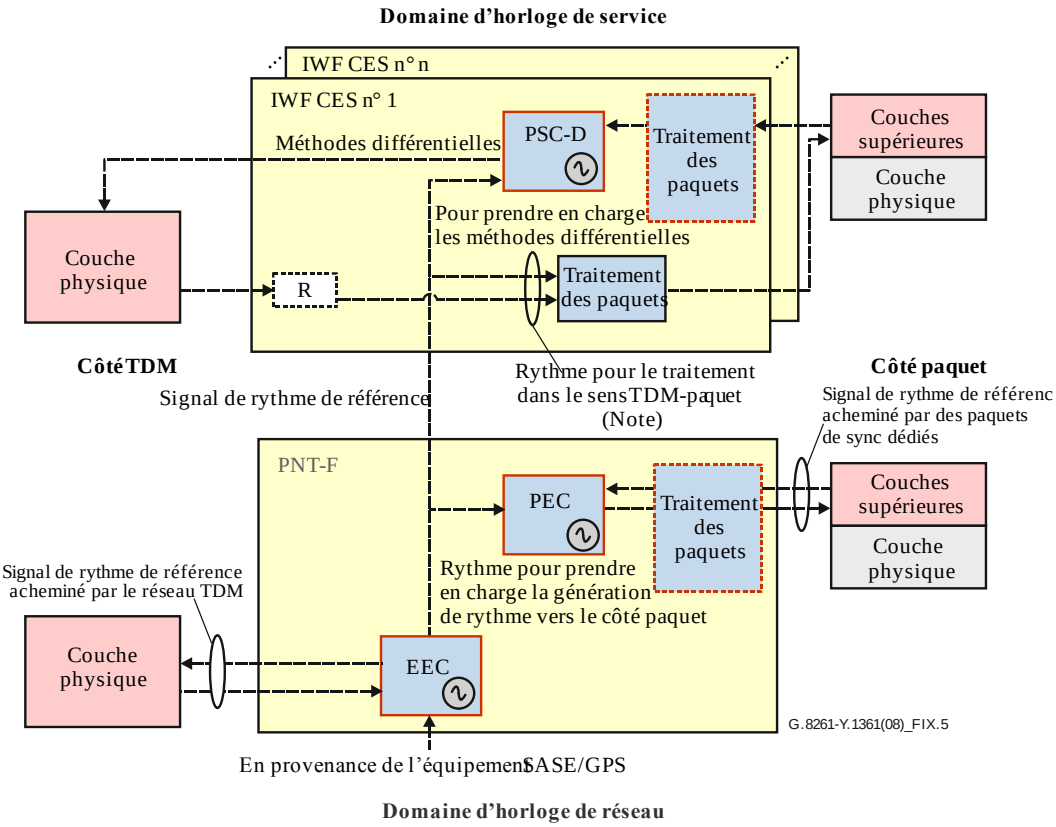
Figure IX.3 – Domaine d'horloge de service et de réseau dans la fonction IWF côté émission (Tx)



PSC-D Horloge de service en mode paquets pour les méthodes différentielles

Figure IX.4 – Domaine d'horloge de service et de réseau dans la fonction IWF côté réception (Rx)

Dans l'exemple suivant, le rythme de réseau est acheminé par le réseau TDM. Ce rythme est ensuite utilisé pour prendre en charge la méthode différentielle dans la fonction IWF CES, ainsi que pour synchroniser l'horloge PEC afin de générer les horodates à acheminer sur le réseau par paquets.



Flux de rythme

N Nombre d'utilisateurs CES associés à la fonction IWF CES

NOTE – Ce rythme est utilisé pour la génération des paquets sortants et sert de base à la génération des messages de rythme pour la méthode différentielle. Le signal de rythme de référence généré par la fonction PNT-F et celui utilisé pour prendre en charge la méthode différentielle peuvent être commandés par une horloge différente de l'horloge EEC (par exemple une horloge SEC).

Figure IX.5 – Méthode différentielle dans la fonction IWF CES: horloges EEC et PEC dans la fonction PNT

Appendice X

Considérations relatives aux mesures applicables à l'Ethernet synchrone conformément aux méthodes définies par l'UIT-T par comparaison avec les mesures de la gigue définies par l'IEEE

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

Les spécifications et les méthodes de mesure de la gigue sur Ethernet sont différentes de celles applicables à la technologie SDH en raison de l'utilisation de méthodes différentes pour le rythme. Dans les systèmes synchrones tels que SDH, les éléments de ces systèmes sont synchronisés sur une horloge commune. Dans les systèmes asynchrones tels qu'Ethernet, le rythme utilisé par les éléments provient d'horloges réparties ou de signaux d'horloge récupérés à partir de données. Dans ce cas, la gigue générée par les éléments doit être limitée, mais la gigue transférée d'un élément à l'autre est moins importante que pour les systèmes synchrones, pour lesquels la gigue peut augmenter d'un élément à l'autre.

Dans les systèmes SDH, trois mesures dans des configurations différentes définissent les caractéristiques de gigue: génération de gigue dans une bande limitée, tolérance de gigue sinusoïdale à l'entrée, et transfert de gigue.

Dans les systèmes Ethernet, on utilise l'approche selon laquelle il existe essentiellement deux mécanismes de production de gigue, à savoir la gigue déterministe et la gigue aléatoire. Des exigences distinctes sont spécifiées pour les émetteurs et les récepteurs.

Tableau X.1 – Comparaison entre les mesures de la gigue définies par l'UIT-T et l'IEEE

	SDH	**Ethernet**
Normes concernant les réseaux Normes concernant les appareils de mesure	[b-UIT-T G.783], [UIT-T G.825] [UIT-T O.172]	[IEEE 802.3]
Applications concernant la gigue	Génération de gigue Tolérance de gigue en entrée Transfert de gigue	(Note 1) (Note 2) –

NOTE 1 – Il existe trois méthodes possibles de mesure de la gigue en sortie:

1) mesure dans le domaine temporel au moyen d'un oscilloscope pour caractériser le diagramme de l'oeil;
2) mesure dans le domaine temporel au moyen d'un balayage BERT reposant sur le déplacement du point d'échantillonnage des données à l'intérieur du diagramme de l'oeil;
3) analyse de l'intervalle de temps sur la base d'une mesure précise de l'intervalle de temps entre deux franchissements successifs d'un seuil par la forme d'onde de l'émetteur.

NOTE 2 – Les récepteurs sont soumis à un test pour mesurer leur sensibilité à des contraintes. Le test a pour objet de vérifier qu'un récepteur donné peut fonctionner avec un taux d'erreurs sur les bits meilleur que 10^{-12} lorsqu'il reçoit un signal correspondant au cas le plus défavorable permis. Ce test, qui est analogue à la mesure de la tolérance de gigue, est aussi appelé "test de l'oeil sous contrainte" ou "test de tolérance du récepteur". Il comprend deux parties: un diagramme de l'oeil avec des combinaisons de dégradations et un gabarit de gigue sinusoïdale utilisé pour les mesures de franchissement de seuil.

Appendice XI

Relation entre les exigences énoncées dans la présente Recommandation et dans d'autres Recommandations essentielles relatives à la synchronisation

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

L'UIT-T a approuvé la famille suivante de Recommandations (série G), qui décrivent plusieurs aspects des fonctions de synchronisation pour les réseaux TDM:

– UIT-T G.803 – Architecture des réseaux de transport à hiérarchie numérique synchrone (SDH) – Cette Recommandation décrit l'architecture fonctionnelle des réseaux de transport ainsi que les principes de synchronisation dans les réseaux à hiérarchie numérique synchrone (SDH).

– UIT-T G.810 – Définitions et terminologie des réseaux de synchronisation – Cette Recommandation définit les termes et les abréviations utilisés dans les Recommandations relatives au rythme et à la synchronisation.

– UIT-T G.823 – Régulation de la gigue et du dérapage dans les réseaux numériques basés sur la hiérarchie à 2 048 kbit/s – Cette Recommandation spécifie les limites maximales de la gigue et du dérapage qui ne devront pas être dépassées dans le réseau et la tolérance minimale de gigue et de dérapage qui devra être prévue pour l'équipement à une interface de transport ou de synchronisation correspondante quelconque basée sur la hiérarchie à 2 048 kbit/s.

– UIT-T G.824 – Régulation de la gigue et du dérapage dans les réseaux numériques basés sur la hiérarchie à 1 544 kbit/s – Cette Recommandation spécifie les limites maximales de gigue et de dérapage dans le réseau qui ne doivent pas être dépassées aux interfaces avec le réseau de transport ou de synchronisation pertinentes et la tolérance minimale de gigue et de dérapage de l'équipement qui doit être prévue à toute interface de synchronisation ou de transport pertinente.

– UIT-T G.825 – Régulation de la gigue et du dérapage dans les réseaux numériques à hiérarchie numérique synchrone (SDH) – Cette Recommandation spécifie les limites maximales de gigue et de dérapage dans le réseau qui ne doivent pas être dépassées et la tolérance minimale de gigue et de dérapage de l'équipement qui doit être prévue à toute interface de transport ou de synchronisation pertinente qui est basée sur la hiérarchie numérique synchrone (SDH).

– UIT-T G.812 – Spécifications de rythme des horloges asservies utilisées comme horloges nodales dans les réseaux de synchronisation – Cette Recommandation spécifie les caractéristiques minimales des dispositifs de rythme utilisés comme horloges nodales dans les réseaux de synchronisation. Trois types d'horloge sont spécifiés dans le corps de la Recommandation et trois autres dans son Annexe A.

– UIT-T G.813 – Caractéristiques de rythme des horloges asservies utilisées dans les équipements SDH (SEC) – Cette Recommandation présente les prescriptions minimales applicables aux dispositifs de rythme utilisés dans les équipements de réseau de synchronisation qui fonctionnent conformément aux principes régis par la hiérarchie numérique synchrone (SDH).

– UIT-T G.781 – Fonctions des couches de synchronisation – Cette Recommandation définit les fonctions atomiques qui font partie des deux couches synchronisation, la couche distribution de synchronisation (SD) et la couche synchronisation de réseau (NS). Elle définit en outre certaines fonctions atomiques de la couche transport, qui sont liées à la synchronisation.

– UIT-T G.783 – Caractéristiques des blocs fonctionnels des équipements de la hiérarchie numérique synchrone – Cette Recommandation spécifie aussi bien les composants que la méthode à utiliser pour spécifier la fonctionnalité SDH d'éléments de réseau.

L'UIT-T a travaillé sur la famille suivante de Recommandations (séries G.826x et Y.136x), qui décrivent plusieurs aspects des fonctions de synchronisation en fréquence pour les réseaux par paquets:

– UIT-T G.8261/Y.1361 – Aspects de rythme et de synchronisation dans les réseaux par paquets – Cette Recommandation définit les aspects de synchronisation dans les réseaux par paquets. Elle spécifie les limites maximales de gigue et de dérapage à ne pas dépasser dans ces réseaux. Elle spécifie en outre la tolérance minimum des équipements vis-à-vis de la gigue et du dérapage, qui doit être observée à la limite de ces réseaux par paquets aux interfaces TDM et de synchronisation. Elle définit par ailleurs les exigences minimales pour la fonction de synchronisation des éléments de réseau.

– UIT-T G.8261.1/Y.1361.1 – Limites de la variation du temps de transfert des paquets dans le réseau applicables aux méthodes fondées sur les paquets (synchronisation en fréquence) – Cette Recommandation décrit des aspects liés à la synchronisation dans les réseaux par paquets. En particulier, elle spécifie le modèle de référence fictif et les limites de la variation du temps de transfert des paquets dans le réseau applicables lorsque la synchronisation en fréquence est acheminée via des paquets et est récupérée selon une méthode de récupération d'horloge adaptative telle que définie dans les Recommandations [UIT-T G.8261] et [UIT-T G.8260]. Elle spécifie la tolérance minimale des équipements à la variation du temps de transfert des paquets en fonction des paramètres définis dans la Recommandation [UIT-T G.8260] à la frontière de ces réseaux par paquets.

– UIT-T G.8262/Y.1362 – Caractéristiques de rythme des horloges asservies d'équipement Ethernet synchrone (EEC) – Cette Recommandation énonce les exigences relatives aux dispositifs de rythme utilisés pour la synchronisation des équipements de réseaux qui utilisent l'Ethernet synchrone.

– UIT-T G.8263/Y.1363 – Caractéristiques de rythme des horloges d'équipement fondées sur les paquets – Cette Recommandation présente les exigences relatives aux dispositifs de rythme utilisées pour la synchronisation des équipements de réseau qui fonctionnent dans la fonction d'interfonctionnement (IWF) et d'autres éléments de réseau, comme défini dans la Recommandation [UIT-T G.8261/Y.1361]. Cette Recommandation définit les exigences relatives aux horloges d'équipement en mode paquet.

– UIT-T G.8264/Y.1364 – Distribution du rythme dans les réseaux par paquets – Cette Recommandation énonce les exigences relatives aux réseaux Ethernet pour ce qui est du transfert de la fréquence. Elle spécifie le canal de transport des messages SSM, à savoir le canal de messagerie pour la synchronisation Ethernet, le comportement du protocole et le format des messages. Cette Recommandation présente en outre de façon détaillée l'architecture requise dans un langage de modélisation formel.

– UIT-T G.8265/Y.1365 – Architecture et spécifications pour la distribution de fréquence en mode paquet – Cette Recommandation décrit l'architecture et les exigences relatives à la distribution de fréquence en mode paquet dans les réseaux de télécommunication. Elle décrit brièvement des exemples de distribution de fréquence en mode paquet (protocole de temps réseau (NTP), norme [b-IEEE 1588-2008]). Les détails nécessaires à l'utilisation de la norme [b-IEEE 1588-2008] de manière compatible avec l'architecture sont définis dans d'autres Recommandations.

– UIT-T G.8265.1/Y.1365.1 – Profil du protocole de précision temporelle pour la synchronisation en fréquence dans les applications de télécommunication – Cette Recommandation contient le profil PTP UIT-T pour la distribution de fréquence sans prise en charge du rythme dans le réseau (mode monodiffusion). Elle donne les détails nécessaires

à l'utilisation de la norme [IEEE 1588-2008] de manière compatible avec l'architecture décrite dans la Recommandation [UIT-T G.8265]. Cette version de la Recommandation définit le profil PTP uniquement pour le mode monodiffusion. Un profil distinct pour un cas mixte monodiffusion/multidiffusion figurera dans de futures versions de la Recommandation.

Le Tableau XI.1 montre la relation entre la famille de Recommandations relatives à la synchronisation pour les réseaux TDM et la famille de Recommandations relatives à la synchronisation pour les réseaux par paquets.

Tableau XI.1 – Famille de Recommandations relatives à la synchronisation pour les réseaux TDM/famille de Recommandations relatives à la synchronisation pour les réseaux par paquets

Exigences	Réseau TDM	Réseau par paquets
Exigences concernant l'architecture fonctionnelle et la synchronisation des réseaux	G.803, G.810 G.823, G.824, G.825	G.8261/Y.1361 G.8261.1/Y.1361 G.8265/Y.1365
Spécification des horloges des équipements	G.812 (Type IV), G.813	G.8262/Y.1362 G.8263/Y.1363
Fonctions des couches de synchronisation, blocs fonctionnels, flux de rythme, et messages SSM. Protocole pour le rythme en mode paquet	G.783, G.781	G.8264/Y.1364, G.781 G.8265.1/Y.1365.1

Appendice XII

Principes de base de synchronisation pour les réseaux par paquets

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

XII.1 Considérations générales

Considérons la situation dans laquelle une horloge asservie (ou client) obtient son rythme d'une horloge pilote (ou serveur). Les échanges de paquets entre horloges pilote et asservie fournissent des mesures du temps de transit et du décalage entre les deux horloges. Ceci est expliqué dans la Figure XII.1. Les principes de synchronisation décrits ici pour les réseaux par paquets sont assez généraux. Il s'agit d'exemples applicables aux méthodes uni- et bidirectionnelles. Le protocole particulier employé (par exemple, le protocole [b-IEEE-1588] ou NTP) détermine les détails (méthode et conventions sous-jacentes), suivant lesquels les mesures ("l'horodate") sont communiquées entre les deux entités. Il convient de noter que le nombre de paquets émis dans les deux sens ne doit pas nécessairement être égal et qu'en outre des paquets supplémentaires peuvent être émis, qui acheminent des informations mais dont le temps de transit n'est pas mesuré.

Une hypothèse fondamentale est celle selon laquelle les trajets des paquets (routes) peuvent être considérés comme étant statiques sur un certain intervalle de temps, des changements fondamentaux ne se produisant que rarement. Si l'intervalle de temps entre des changements importants du trajet de transmission est beaucoup plus grand que la durée de l'échange de paquets, le trajet peut être traité comme étant constant pour un ensemble donné de mesures. Ce qui veut dire que le trajet emprunté par les paquets est le même sur tout l'intervalle de mesure.

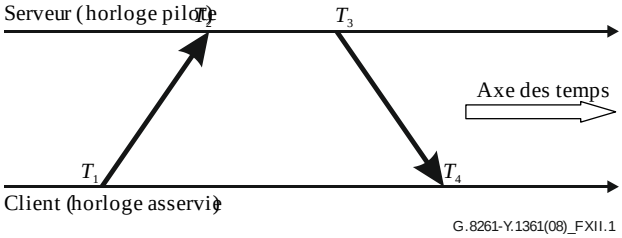


Figure XII.1 – Notion d'horodates dans un échange de paquets entre un serveur et un client

On définit, en association avec les paquets dont le temps de transit est mesuré, les quatre horodates suivantes:

T_1: Une horodate représentant la meilleure estimation du moment de début d'émission d'un paquet ou d'une trame, émis au niveau de l'horloge asservie.

T_2: Une horodate représentant la meilleure estimation du moment de fin de réception d'un paquet ou d'une trame, reçu au niveau de l'horloge pilote.

T_3: Une horodate représentant la meilleure estimation du moment de début d'émission d'un paquet ou d'une trame, émis au niveau de l'horloge pilote.

T_4: Une horodate représentant la meilleure estimation du moment de fin de réception d'un paquet ou d'une trame, reçu au niveau de l'horloge asservie.

Une représentation complète de la valeur générique d'une horodate peut s'écrire comme suit:

$$T_{TS}(n) = T(n) + e_{TS}(n) + e_{CLK}(n) \qquad \text{(XII-1)}$$

L'équation XII-1 rend compte du fait que l'horodate (valeur numérique) associée à un paquet, T_{TS}, correspond au vrai moment dans le temps de ce paquet ($T(n)$) et à deux termes d'erreur. Il y a d'abord la contribution directe de l'erreur d'horloge locale, e_{CLK}, puis l'imprécision du processus

d'horodatage, e_{TS}, qui peut occulter le comportement de l'horloge. L'indice "n" est inclus pour identifier le paquet en tant que membre d'une suite de paquets.

En se reportant à la Figure XII.1, on peut, en se fondant sur les horodates, définir les mesures importantes suivantes du flux de rythme. Ces mesures s'appliquent tant dans les transferts unidirectionnels que dans les transferts bidirectionnels.

Considérons d'abord le cas d'un transfert unidirectionnel (de fréquence).

Le transfert unidirectionnel est une opération asymétrique qui nécessite seulement l'émission d'un paquet ou d'un flux PDU dans un sens. Par exemple, considérons un flux de rythme émis au niveau de l'horloge pilote et reçu au niveau de l'horloge asservie. Des quatre horodates décrites dans la Figure XII.1, seules deux s'appliquent à ce mode. Lorsque l'horloge pilote émet le flux d'horodates, la convention veut que la paire d'horodates (T_3,T_4) décrit le processus. L'horodate émise T_3 est mesurée sur l'échelle des temps de l'horloge pilote, tandis que l'horodate reçue T_4 est mesurée sur l'échelle des temps de l'horloge asservie.

Le décalage de mesure, δ_{MS}, est calculé comme suit (l'indice "*MS*" indique le sens allant de l'horloge pilote vers l'horloge asservie; "*SM*" est utilisé pour le sens allant de l'horloge asservie à l'horloge pilote):

$$\delta_{MS}(n) = T_4(n) - T_3(n) \qquad \text{(XII-2a)}$$

où

$$T_4(n) = T(n) + \Delta_{MS}(n) + e_{S-TS}(n) + e_{S-CLK}(n) \qquad \text{(XII-2b)}$$

$\Delta_{MS}(n)$ étant le délai de transfert dans le réseau subi par le $n^{\text{ième}}$ paquet émis par l'horloge pilote vers l'horloge asservie, et

$$T_3(n) = T(n) + e_{M-TS}(n) + e_{M-CLK}(n) \qquad \text{(XII-2c)}$$

Donc

$$\delta_{MS}(n) = e_{S-CLK}(n) - e_{M-CLK}(n) + \Delta_{MS}(n) + e_{S-TS}(n) - e_{M-TS}(n) \qquad \text{(XII-2d)}$$

Il convient de noter que le transfert unidirectionnel de paquets entre l'horloge client et l'horloge serveur est aussi possible et qu'un décalage équivalent de mesure peut être défini dans ce cas. De même, le décalage de mesure, δ_{SM}, pour le sens allant de l'horloge asservie vers l'horloge pilote, peut être calculé comme suit:

$$\delta_{SM}(n) = T_2(n) - T_1(n) \qquad \text{(XII-2e)}$$

et l'équation XII-2f est l'analogue de l'équation XII-2d, les rôles de l'horloge pilote et de l'horloge asservie étant inversés. $\Delta_{SM}(n)$ est le délai de transfert dans le réseau subi par le $n^{\text{ième}}$ paquet émis par le client vers le serveur.

$$\delta_{SM}(n) = e_{M-CLK}(n) - e_{S-CLK}(n) + \Delta_{SM}(n) + e_{M-TS}(n) - e_{S-TS}(n) \qquad \text{(XII-2f)}$$

Les principales propriétés du décalage de mesure sont les suivantes:

1) Le décalage de mesure est faussé par le délai de transfert unidirectionnel du paquet (Δ). Le délai de transfert du paquet ne peut être estimé à l'aide d'une mesure unidirectionnelle quand le décalage de l'horloge client est inconnu. Les valeurs δ_{MS} et δ_{SM} sont des estimations des délais de transfert unidirectionnel, et sont rendues imprécises par les erreurs de l'horloge et de l'horodatage.

2) Les effets néfastes des erreurs sur le délai de transfert des paquets peuvent être minimisés en choisissant des transferts de paquets unidirectionnels avec de bonnes propriétés (stables) pour ce qui est des délais de transfert.

3) L'erreur résiduelle peut, soit être réduite en estimant le délai de transfert unidirectionnel d'une autre manière (par exemple, en employant des horodates associées au sens inverse), soit être ignorée dans le cas de l'estimation de la fréquence, puisque le décalage de fréquence est simplement le taux de changement du déphasage, qui est nul dans le cas d'une erreur systématique sur le déphasage.

4) Les erreurs d'horodatage au niveau du serveur et du client ne peuvent pas être éliminées et doivent être correctement limitées pour un fonctionnement acceptable.

Le décalage de mesure dans un transfert de paquets unidirectionnel est analogue aux mesures d'erreurs de phase obtenues lors de la synchronisation unidirectionnelle habituelle dans la couche physique. C'est la raison pour laquelle il est capable de prendre en charge des transferts de fréquence, mais pas des transferts de temps précis.

Contrairement au transfert unidirectionnel, le transfert bidirectionnel d'horodates met en jeu un flux de paquets de rythme dans les deux sens. Ce qui implique que les quatre horodates décrites dans la Figure XII.1 sont employées. Dans le cas d'un transfert bidirectionnel d'horodates dans des paquets, le flux d'horodates est déclenché par un élément (généralement le client pour le protocole NTP et le serveur pour le protocole PTP).

On considère que le sens de déclenchement correspond au sens aller, tandis que le transfert de retour correspond au sens inverse. Toutefois, étant donné que l'on peut considérer que l'on a un transfert unidirectionnel dans chaque sens, le transfert bidirectionnel peut être décrit comme suit:

$$\delta_{SM}(n) = e_{M-CLK}(n) - e_{S-CLK}(n) + \Delta_{SM}(n) + e_{M-TS}(n) - e_{S-TS}(n) \qquad \text{(XII-3a)}$$

$$\delta_{MS}(n) = e_{S-CLK}(n) - e_{M-CLK}(n) + \Delta_{MS}(n) + e_{S-TS}(n) - e_{M-TS}(n) \qquad \text{(XII-3b)}$$

Deux paramètres clés peuvent être estimés à partir de l'échange bidirectionnel, à savoir à partir de δ_{SM} et de δ_{MS}. Pour plus de simplicité, nous supposons maintenant que les erreurs d'horodatage sont négligeables. Le premier paramètre clé est appelé *décalage*:

$$décalage\ (n) = \frac{\delta_{MS}(n) - \delta_{SM}(n)}{2} = e_{S-CLK}(n) - e_{M-CLK}(n) + \frac{\left[\Delta_{MS}(n) - \Delta_{SM}(n)\right]}{2} \qquad \text{(XII-4)}$$

où *décalage* représente une estimation de la correction d'horloge nécessaire pour aligner le temps du client sur le temps du serveur.

Le second paramètre, *rtd*, représente une estimation du temps total de transfert aller-retour:

$$rtd(n) = \delta_{MS}(n) + \delta_{SM}(n) = \Delta_{MS}(n) + \Delta_{SM}(n) \qquad \text{(XII-5)}$$

A l'évidence, pour obtenir une estimation non faussée du décalage, il faut avoir connaissance des temps de transfert aller et retour ou supposer qu'ils sont symétriques. Il est à noter que pour avoir une estimation non faussée du temps de transfert aller-retour, les erreurs d'horloge doivent être les mêmes dans les deux sens. Bien entendu, si le temps écoulé entre les deux échanges de paquets est court, on peut supposer que les erreurs d'horloge sont les mêmes pour les deux transferts.

L'erreur relative à (l'estimation de) l'horloge du client, ε, peut être attribuée aux facteurs suivants:

1) Le temps de transit n'est pas le même dans les deux sens. La différence a une incidence directe sur l'estimation de l'erreur d'horloge du client. L'erreur, Δε, est donnée par:

$$\Delta\varepsilon = \left(\frac{1}{2}\right)\left(\Delta_{MS} - \Delta_{SM}\right) \qquad \text{(XII-6)}$$

2) Il se peut que les valeurs des horodates ne soient pas mesurées avec précision. En effet, T_1 est l'instant réel de départ du paquet du serveur, mais la valeur utilisée dans le calcul peut être une estimation. De même, T_2 est censé être l'instant réel d'arrivée, mais la valeur utilisée peut être une estimation. Pour que les valeurs des horodates soient précises, elles doivent être obtenues par des moyens les plus proches possible de la couche PHY, de sorte que l'instant de départ (instant d'arrivée) ne soit pas altéré par un quelconque délai (variable) attribuable à des entités telles que le système d'exploitation ou le traitement des interruptions. Il y aura toujours des erreurs résiduelles associées à la résolution des horodates et à la variation du temps de transfert dans la couche PHY proprement dite. Une bonne conception permet de traiter le problème de la résolution des horodates. Le bruit dû à la couche PHY doit être limité ou filtré en fonction du transport.

3) Les temps de transit Δ_{MS} et Δ_{SM} ne sont pas fixes et varient d'un paquet à l'autre en raison de la variation du temps de transfert des paquets (PDV) associée à la fois au phénomène de mise en file d'attente et au phénomène de transport physique dans le réseau.

XII.2 Limitation de la variation du temps de transfert des paquets par la sélection des paquets

Un concept important est qu'un filtre d'horloge ou servomécanisme d'horloge basé sur les paramètres de mesure définis ci-dessus peut sélectionner ou pondérer un transfert pour optimiser la stabilité d'ensemble de l'horloge. Autrement dit, une classification et une sélection appropriées des paquets permettent de limiter les effets néfastes de la variation du temps de transfert des paquets.

L'hypothèse selon laquelle le trajet est constant sur l'intervalle d'observation signifie que la fonction de distribution de la variation du temps de transfert des paquets (PDV) présentera une valeur plancher qui varie lentement. La valeur plancher est le temps minimal de transfert d'un paquet (ou d'une autre unité de données de protocole, par exemple une trame de couche 2) sur un trajet donné. La valeur plancher correspond à la situation dans laquelle les files d'attente de sortie et de système (dans tous les équipements par lesquels passe le flux, y compris les éléments de source, de destination et intermédiaires) sont "vides" lorsque le paquet considéré a besoin de la ressource, et ne retardent donc pas la transmission du paquet. La variation résiduelle du temps de transfert des paquets est alors associée aux mécanismes de gigue et de dérapage de la couche physique. Dans les conditions de charge normale sans encombrement, on a observé dans bien des cas qu'une fraction raisonnable du nombre total de paquets traversera le réseau en un temps égal ou pratiquement égal à cette valeur plancher, même si d'autres paquets mettront beaucoup plus de temps. Ce type de comportement a été examiné dans la présente Recommandation (voir l'Appendice I). Dans ces cas, la distribution de la variation PDV présente une forte asymétrie lorsque le réseau est peu chargé. Autrement dit, la densité de probabilité est plus concentrée près de cette valeur plancher, une fraction relativement importante du nombre total de paquets étant transférée en un temps égal (ou pratiquement égal) à ce temps de transfert "minimal". Ces phénomènes sont à l'étude. Un servomécanisme ou filtre d'horloge bien conçu peut tirer parti de l'asymétrie pour limiter les effets de l'instabilité sur la longue traîne de la distribution de la variation PDV.

En principe, le bruit de transfert pour la valeur plancher est limité par un certain nombre de facteurs tels que:

1) la propagation à la vitesse de la lumière dans la couche physique;

2) la résolution des horodates;

3) les délais de mappage pour un transport physique non Ethernet (Ethernet sur xDSL, PON, etc.);

4) d'autres mécanismes entraînant une faible variation du temps de transfert, par exemple la gigue d'horloge dans la couche physique et la gigue dans le domaine de l'horloge en face arrière;

5) la pente du décalage de l'horloge locale pendant l'évaluation de la valeur plancher.

XII.3 Comparaison des méthodes fondées sur les paquets et des méthodes de couche physique synchrone

Il existe plusieurs différences entre les méthodes fondées sur les paquets (par exemple [b-IEEE 1588], NTP) et les méthodes de couche physique synchrone telles que l'Ethernet synchrone. Certaines sont examinées ci-dessous:

1) En général, les méthodes de couche physique synchrone sont des méthodes unidirectionnelles qui conviennent pour l'alignement fréquentiel. Les méthodes fondées sur les paquets peuvent être utilisées en mode unidirectionnel pour effectuer un alignement fréquentiel et un alignement temporel approximatif. Les méthodes fondées sur les paquets utilisées en mode bidirectionnel permettent d'effectuer un alignement temporel ainsi qu'un alignement fréquentiel.

2) Etant donné que, dans les méthodes de couche physique synchrone, les informations de rythme sont contenues dans le signal de code de ligne physique, elles ne dépendent pas de la charge de trafic. En revanche, les profils de trafic ont une incidence sur les méthodes fondées sur les paquets, en particulier en l'absence de mécanisme de priorisation en fonction de la qualité de service.

3) Les méthodes de couche physique synchrone sont des méthodes point à point. Chaque noeud intermédiaire entre l'horloge PRC et l'horloge client considérée doit faire partie du système de distribution du rythme pour ne pas briser les chaînes de rythme. Quant aux méthodes fondées sur les paquets, des noeuds n'intervenant pas dans la distribution du rythme peuvent être traversés.

4) La tolérance à l'entrée d'une horloge de couche physique synchrone est exprimée en termes de "bruit d'horloge" dans le signal de référence et quantifiée au moyen des paramètres TDEV et MTIE. Les dégradations dans le réseau qui ont une incidence sur la qualité de fonctionnement d'une horloge en mode paquet sont les pertes de paquets et la variation du temps de transfert des paquets (PDV) liées à la couche physique et aux mises en file d'attente. Des paramètres appropriés pour quantifier la variation du temps de transfert des paquets du point de vue de la récupération d'horloge sont en cours de définition, notamment TDEV et minTDEV. MTIE n'est pas un paramètre intéressant pour quantifier la variation du temps de transfert des paquets du point de vue de la récupération d'horloge car les paquets ne sont pas nécessairement tous utilisés dans les algorithmes de récupération.

XII.4 Normes existantes

Les normes publiées pour la synchronisation sur les réseaux par paquets sont la norme [b-IETF RFC 5905] (NTP) – qui annule et remplace les deux normes [b-IETF RFC 1305] (NTP v3) et [b-IETF RFC 4330] (SNTP)) – et la norme [b-IEEE 1588] (PTP).

Les protocoles NTP et PTP sont des protocoles généraux pour les réseaux par paquets et ne répondent pas directement aux besoins en matière de télécommunications. Des profils adaptés fournissant des lignes directrices pour le déploiement dans des applications de télécommunication sont en cours de définition.

La Recommandation [UIT-T Y.1731] utilise des horodates pour la définition de certains critères de qualité de fonctionnement dans les réseaux Ethernet. Il est intéressant de constater que la

Recommandation [UIT-T Y.1731] utilise exactement les quatre horodates décrites ici, et les transporte dans des trames OAM (exploitation, administration et maintenance) entre les deux extrémités d'une liaison.

Appendice XIII

Evaluation de la variation du temps de transfert des paquets produite dans un noeud de réseau

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

XIII.1 Introduction

Le présent Appendice donne des indications sur l'évaluation de la variation du temps de transfert des paquets (PDV) produite dans les noeuds de réseau lorsqu'on utilise des méthodes fondées sur les paquets sans prise en charge du rythme, ou avec une prise en charge partielle du rythme par le réseau. Le type de mesure décrit dans le présent Appendice s'applique aux noeuds ne prenant pas en compte le protocole PTP (autrement dit les noeuds de réseau ne prenant pas en charge d'horloges en limite ou d'horloges transparentes).

Le bruit de variation PDV est lié à la fois à la synchronisation en fréquence et à la synchronisation en phase ou en temps. L'asymétrie est liée uniquement à la synchronisation en phase ou en temps, mais pas à la synchronisation en fréquence. Le présent Appendice tient compte uniquement de la synchronisation en fréquence. L'évaluation et l'analyse concernant la synchronisation en phase/temps seront étudiées ultérieurement et pourront être définies dans une Recommandation distincte.

XIII.2 Considérations générales

La mesure de la variation PDV pour un seul noeud a pour objet de déterminer l'incidence du noeud sur le rythme de propagation des paquets de rythme et, par conséquent, son incidence sur la distribution du rythme en mode paquet.

Toute fonctionnalité activée sur un équipement comme un routeur ou un commutateur peut avoir une incidence sur la variation PDV. Il est donc suggéré de procéder à des tests sur un certain nombre de configurations qu'il est prévu de déployer.

Par exemple, s'il est prévu d'utiliser un équipement en tant que routeur, les différents flux de paquets devront être routés dans l'équipement pendant les tests. S'il est prévu d'utiliser l'équipement en tant que commutateur, les différents flux de paquets devront être commutés pendant les tests. Dans certains cas, on pourrait envisager des scénarios mixtes (par exemple un scénario commutateur/routeur, dans lequel les paquets de rythme peuvent être routés et le trafic d'arrière-plan commuté, ou inversement). Les autres configurations possibles pourraient être basées sur la garantie ou l'absence de garantie d'une qualité de service, le recours à une encapsulation (par exemple MPLS), une liste des clients acceptés.

XIII.3 Configuration générale

Le présent paragraphe décrit la configuration générale à utiliser pour mesurer la variation PDV produite par un seul noeud.

XIII.3.1 Description générale de la mesure de la variation PDV produite par un seul noeud de réseau

La mesure de la variation PDV produite par un seul noeud consiste à mesurer la variation PDV ajoutée à un signal de rythme en mode paquet (par exemple le flux de rythme [b-IEEE 1588]) au cours du passage de ce signal dans un seul équipement de réseau. Le signal de rythme en mode paquet doit être idéal à l'entrée de l'équipement de réseau (autrement dit il ne présente aucune variation PDV avant d'entrer dans le noeud), et la variation PDV doit être mesurée directement à la sortie de l'équipement de réseau afin de déterminer la variation PDV produite par le noeud. Des contraintes sont appliquées pendant le test, par exemple un trafic d'arrière-plan est transmis au noeud de réseau.

La Figure XIII.1 ci-après illustre la configuration générale utilisée pour la mesure de la variation PDV produite par un seul noeud. Le paragraphe XIII.3 décrira en détail les tests génériques applicables.

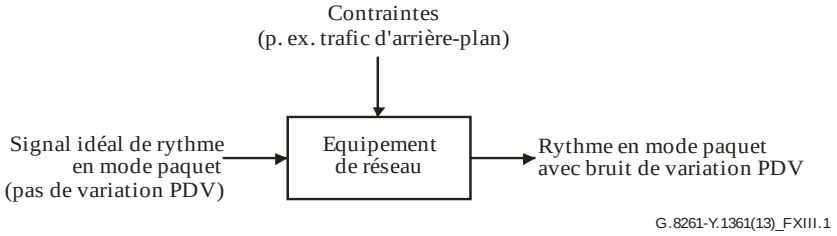


Figure XIII.1 – Configuration générale pour la mesure de la variation PDV produite par un seul noeud

NOTE 1 – Afin de générer un signal idéal de rythme en mode paquet à l'entrée de l'équipement de réseau, une horloge pilote en mode paquet (par exemple une horloge pilote PTP) peut être connectée directement à l'équipement de réseau soumis à des contraintes. Il est à noter que le bruit de variation PDV généré par l'horloge pilote doit être très faible pour pouvoir considérer que le signal d'entrée de rythme en mode paquet est exempt de bruit (par exemple négligeable par rapport au bruit mesuré).

NOTE 2 – La variation PDV du signal de rythme en mode paquet (par exemple flux de rythme PTP) peut être mesurée à la sortie de l'équipement de réseau à l'aide d'une sonde de variation PDV afin de déterminer la variation PDV produite par l'équipement de réseau.

NOTE 3 – Afin d'établir une communication selon le protocole de synchronisation (par exemple communication PTP), une horloge asservie en mode paquet (par exemple une horloge asservie PTP) peut être connectée à l'équipement de réseau après la sonde de variation PDV (il est toutefois à noter que l'objectif n'est pas de mesurer la qualité de fonctionnement à la sortie de l'horloge asservie, mais uniquement la variation PDV produite par l'équipement).

Pour plus de détails sur les différentes configurations possibles (par exemple une configuration avec un flux de paquets de rythme et un trafic d'arrière-plan) et les tests génériques, un complément d'étude est nécessaire.

Bibliographie

[b-UIT-T G.701] Recommandation UIT-T G.701 (1993), *Vocabulaire relatif à la modulation par impulsions et codage (MIC), au multiplexage et à la transmission numériques*.

[b-UIT-T G.707] Recommandation UIT-T G.707/Y.1322 (2000), *Interface de noeud de réseau pour la hiérarchie numérique synchrone (SDH)*.

[b-UIT-T G.783] Recommandation UIT-T G.783 (2004), *Caractéristiques des blocs fonctionnels des équipements de la hiérarchie numérique synchrone*.

[b-UIT-T G.801] Recommandation UIT-T G.801 (1988), *Modèles de transmission numérique*.

[b-UIT-T G.810] Recommandation UIT-T G.810 (1996), *Définitions et terminologie des réseaux de synchronisation*.

[b-UIT-T G.1020] Recommandation UIT-T G.1020 (2006), *Définition des paramètres de performance pour la qualité des applications vocales et autres applications en bande vocale utilisant les réseaux IP*.

[b-UIT-T I.363.1] Recommandation UIT-T I.363.1 (1996), *Spécifications de la couche d'adaptation ATM du RNIS à large bande: AAL de type 1*.

[b-UIT-T T.4] Recommandation UIT-T T.4 (2003), *Normalisation des télécopieurs du Groupe 3 pour la transmission de documents*.

[b-UIT-T V.90] Recommandation UIT-T V.90 (1998), *Paire modem numérique-modem analogique destinée à être utilisée sur le réseau téléphonique public commuté à des débits allant jusqu'à 56 000 bit/s vers l'aval et 33 600 bit/s vers l'amont*.

[b-UIT-T Y.1560] Recommandation UIT-T Y.1560 (2003), *Paramètres de qualité de fonctionnement des connexions TCP en présence de médiateurs*.

[b-ETSI TR 101 685] ETSI TR 101 685 (en vigueur), *Transmission and Multiplexing (TM); Timing and synchronization aspects of Asynchronous Transfer Mode (ATM) networks*. <http://webapp.etsi.org/workprogram/Report_WorkItem.asp?WKI_ID=7595>

[b-ETSI TS 100 594] ETSI TS 100 594 (1999), *Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Base Station Controller – Base Transceiver Station – (BSC – BTS) interface; Layer 1 Structure of Physical Circuits*. <http://webapp.etsi.org/workprogram/Report_WorkItem.asp?WKI_ID=8606>

[b-ETSI TS 125 104] ETSI TS 125 104 (en vigueur), *Universal Mobile Telecommunications Systems (UMTS); Base Station (BS) radio transmission and reception (FDD)*. <http://webapp.etsi.org/workprogram/Report_WorkItem.asp?WKI_ID=28301>

[b-ETSI TS 125 105] ETSI TS 125 105 (en vigueur), *Universal Mobile Telecommunications Systems (UMTS); Base Station (BS) radio transmission and reception (TDD)*. <http://webapp.etsi.org/workprogram/Report_WorkItem.asp?WKI_ID=28303>

[b-ETSI TS 125 402] ETSI TS 125 402 (en vigueur), *Universal Mobile Telecommunications Systems (UMTS); Synchronization in UTRAN Stage 2*. <http://webapp.etsi.org/workprogram/Report_WorkItem.asp?WKI_ID=22972>

[b-ETSI TS 125 431] ETSI TS 125 431 (en vigueur), *Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); UTRAN Iub interface Layer 1*. <http://webapp.etsi.org/workprogram/Report_WorkItem.asp?WKI_ID=24642>

[b-ETSI TS 145 010] ETSI TS 145 010 (en vigueur), *Digital cellular telecommunications systems (Phase 2+), Radio subsystem synchronization*. <http://webapp.etsi.org/workprogram/Report_WorkItem.asp?WKI_ID=19334>

[b-IEEE 802.1ah] IEEE 802.1ah-2008, *IEEE Standard for local and metropolitan area network – Virtual Bridged Local Area Networks – Amendment 7: Provider Backbone bridges*. <http://www.ieee802.org/1/pages/802.1ah.html>

[b-IEEE 802.1p] IEEE 802.1p-2005, *IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks: Traffic Class Expediting and Dynamic Multicast Filtering*.

[b-IEEE P802.1Qay] IEEE P802.1Qay-REV-2007, *Draft Standard for Local and Metropolitan Area Networks – Virtual Bridged Local Area Networks: Amendment Provider Backbone Bridge Traffic Engineering*. <http://www.ieee802.org/1/pages/802.1ay.html>

[b-IEEE 802.3x] IEEE 802.3x-1997, *IEEE Standards for Local and Metropolitan Area Networks: Supplements to Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications – Specification for 802.3 Full Duplex Operation and Physical Layer Specification for 100 Mb/s Operation on Two Pairs of Category 3 or Better Balanced Twisted Pair Cable*. <http://standards.ieee.org/getieee802/802.3.html>

[b-IEEE 1588] IEEE 1588 STD -2008, *Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems* <http://ieee1588.nist.gov/>

[b-IETF RFC 1305] IETF RFC 1305 (1992), *Network Time Protocol (Version 3) – Specification, Implementation, and Analysis*. <http://www.ietf.org/rfc/rfc1305.txt?number=1305>

[b-IETF RFC 4330] IETF RFC 4330 (2006), *Simple Network Time Protocol (SNTP) Version 4 for IPv4, IPv6 and OSI*.

[b-IETF RFC 5905] IETF RFC 5905 (2010), *Network Time Protocol Version 4: Protocol And Algorithms Specification*. <http://www.ietf.org/rfc/rfc5905.txt?number=59055905>

[b-3GPP2 C.S0010-B] 3GPP2 C.S0010-B (en vigueur), *Recommended Minimum Performance Standards for cdma2000 Spread Spectrum Base Stations*. <http://www.3gpp2.org/Public_html/specs/C.S0010-B_v2.0_021704.pdf>

[b-3GPP2 C.S0002-C] 3GPP2 C.S0002-C (2002), *Physical layer standard for cdma2000 Spread Spectrum Systems*. <http://www.3gpp2.org/Public_html/specs/C.S0002-C_v1.0.pdf>

[b-3GPP TR 25.836] 3GPP TR 25.836 (2001), *Node B synchronization for TDD*. <http://www.3gpp.org/ftp/tsg_ran/TSG_RAN/TSGR_09/Docs/PDFs/RP-000406.pdf>

[b-MEF 3] MEF 3 (2004), *Circuit Emulation Service Definitions, Framework and Requirements in Metro Ethernet Networks*. <http://metroethernetforum.org/Assets/Technical_Specifications/PDF/MEF3.pdf>

RECOMMANDATIONS UIT-T DE LA SÉRIE Y

INFRASTRUCTURE MONDIALE DE L'INFORMATION, PROTOCOLE INTERNET ET RÉSEAUX DE PROCHAINE GÉNÉRATION

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

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 généraux de tarification
Série E	Exploitation générale du réseau, service téléphonique, exploitation des services et facteurs humains
Série F	Services de télécommunication non téléphoniques
Série G	**Systèmes et supports de transmission, systèmes et réseaux numériques**
Série H	Systèmes audiovisuels et multimédias
Série I	Réseau numérique à intégration de services
Série J	Réseaux câblés et transmission des signaux radiophoniques, télévisuels et autres signaux multimédias
Série K	Protection contre les perturbations
Série L	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 réseaux
Série N	Maintenance: circuits internationaux de transmission radiophonique et télévisuelle
Série O	Spécifications des appareils de mesure
Série P	Terminaux et méthodes d'évaluation subjectives et objectives
Série Q	Commutation et signalisation
Série R	Transmission télégraphique
Série S	Equipements terminaux de télégraphie
Série T	Terminaux des services télématiques
Série U	Commutation télégraphique
Série V	Communications de données sur le réseau téléphonique
Série X	Réseaux de données, communication entre systèmes ouverts et sécurité
Série Y	Infrastructure mondiale de l'information, protocole Internet et réseaux de prochaine génération
Série Z	Langages et aspects généraux logiciels des systèmes de télécommunication

Imprimé en Suisse
Genève, 2016