

UIT-T

SECTEUR DE LA NORMALISATION
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS
DE L'UIT

G.8271/Y.1366

(07/2016)

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 relatifs à la synchronisation de temps
et de phase des réseaux en mode paquet**

Recommandation UIT-T G.8271/Y.1366

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.8271/Y.1366

Aspects relatifs à la synchronisation de temps et de phase des réseaux en mode paquet

Résumé

La Recommandation UIT-T G.8271/Y.1366 traite des aspects relatifs à la synchronisation de temps et de phase des réseaux en mode paquet. Elle décrit les méthodes adaptées à la distribution des signaux de synchronisation de référence qui peuvent être employés pour récupérer la synchronisation de phase ou de temps en fonction de la qualité requise.

Il faut respecter les exigences en matière de caractéristiques de synchronisation qui sont décrites dans cette Recommandation, afin de garantir l'interopérabilité des équipements produits par différents équipementiers et une qualité de fonctionnement du réseau satisfaisante.

Historique

Edition	Recommandation	Approbation	Commission d'études	ID unique*
1.0	UIT-T G.8271/Y.1366	13-02-2012	15	11.1002/1000/11527
1.1	UIT-T G.8271/Y.1366 (2012) Amd. 1	29-08-2013	15	11.1002/1000/12033
1.2	UIT-T G.8271/Y.1366 (2012) Amd. 2	13-01-2015	15	11.1002/1000/12391
2.0	UIT-T G.8271/Y.1366	07-07-2016	15	11.1002/1000/12812

Mots clés

Méthodes et interfaces, exigences en matière de synchronisation de temps et de phase.

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

A la date d'approbation de la présente Recommandation, l'UIT n'avait pas été avisée de l'existence d'une propriété intellectuelle protégée par des brevets à acquérir pour mettre en oeuvre 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 2017

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	2
4 Abréviations et acronymes	2
5 Conventions	3
6 Nécessité de la synchronisation de phase et de temps	4
7 Méthodes de synchronisation de temps et de phase	5
7.1 Horloge PRTC répartie	6
7.2 Méthodes fondées sur les paquets avec prise en charge du rythme des noeuds intermédiaires.....	7
8 Modèle de référence de réseau	8
8.1 Partie accès du modèle HRM avec protocole PTP/fonction IWF d'accès natif	10
9 Interfaces de synchronisation de temps et de phase	11
Annexe A – Spécification de l'interface de synchronisation de temps et de phase à une impulsion par seconde (1PPS)	12
A.1 interface UIT-T V.11 à 1PPS	12
A.2 Interface de mesure de la synchronisation de phase à 50 Ω et à 1PPS.....	18
Appendice I – Sources de bruit de temps et de phase dans les chaînes de distribution du temps	20
I.1 Bruit introduit par une horloge de référence temporelle primaire (PRTC)	20
I.2 Bruit introduit par une fonction de l'horloge pilote en mode paquet.....	20
I.3 Bruit introduit par une fonction de l'horloge asservie en mode paquet.....	20
I.4 Bruit introduit par une horloge transparente pour les télécommunications ...	21
I.5 Bruit introduit par une liaison.....	21
I.6 Calcul de l'asymétrie des retards	21
I.7 Caractéristiques des sources de bruit.....	23
I.8 Accumulation d'erreurs de temps dans une chaîne d'horloges	26
Appendice II – Prescriptions relatives à la synchronisation de temps et de phase de l'application finale	27
Appendice III – Compensation de l'asymétrie en cas d'utilisation de différentes longueurs d'onde	31
Appendice IV – Compensation de l'asymétrie de la liaison et du réseau	32
Appendice V – Asymétrie des temps de transmission résultant des modifications de débits de l'interface dans les éléments de réseau non compatibles PTP	35
Bibliographie.....	38

Recommandation UIT-T G.8271/Y.1366

Aspects relatifs à la synchronisation de temps et de phase des réseaux en mode paquet

1 Domaine d'application

La présente Recommandation définit les aspects relatifs à la synchronisation de temps et de phase des réseaux en mode paquet. Elle décrit les méthodes adaptées à la distribution des signaux de synchronisation de référence qui peuvent être employés pour récupérer la synchronisation de phase ou de temps en fonction de la qualité requise. En outre, elle décrit les interfaces de synchronisation de temps et de phase pertinentes ainsi que la qualité de fonctionnement connexe.

Les réseaux en mode paquet qui relèvent de la présente Recommandation sont limités actuellement aux scénarios suivants:

- Ethernet ([IEEE 802.3] et [IEEE 802.1Q]).
- MPLS ([IETF RFC 3031] et [UIT-T G.8110]).
- IP ([IETF RFC 791] et [RFC 2460]).

Les couches physiques considérées correspondant à la présente spécification sont les types de supports Ethernet définis dans la norme [IEEE 802.3].

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 Recommandations et autres 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.703] | Recommandation UIT-T G.703 (2016), <i>Caractéristiques physiques et électriques des interfaces numériques hiérarchiques.</i> |
| [UIT-T G.810] | Recommandation UIT-T G.810 (1996), <i>Définitions et terminologie des réseaux de synchronisation.</i> |
| [UIT-T G.8110] | Recommandation UIT-T G.8110/Y.1370 (2005), <i>Architecture du réseau de couche MPLS.</i> |
| [UIT-T G.8260] | Recommandation UIT-T G.8260 (2015), <i>Termes et définitions relatifs à la synchronisation dans les réseaux en mode paquet.</i> |
| [UIT-T G.8261] | Recommandation UIT-T G.8261/Y.1361 (2013), <i>Aspects de rythme et de synchronisation des réseaux en mode paquet.</i> |
| [UIT-T V.11] | Recommandation UIT-T V.11/X.27 (1996), <i>Caractéristiques électriques des circuits de jonction symétriques à double courant fonctionnant à des débits jusqu'à 10 Mbit/s.</i> |
| [IEEE 802.1Q] | IEEE 802.1Q-2014, <i>IEEE Standard for Local and metropolitan area networks – Bridges and Bridged Networks</i> (Norme de l'IEEE pour les réseaux de zone locale et métropolitaine – Ponts et réseaux pontés)
< http://standards.ieee.org/findstds/standard/802.1Q-2014.html > |

- [IEEE 802.3] IEEE 802.3-2015, *Norme IEEE relative à l'Ethernet*.
<<http://standards.ieee.org/findstds/standard/802.3-2015.html>>
- [IEEE 1588] IEEE 1588-2008, *Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems*. (Norme IEEE de protocole de synchronisation d'horloge de précision pour systèmes répartis de mesure et de commande).
<<http://standards.ieee.org/findstds/standard/1588-2008.html>>.
- [IETF RFC 791] IETF RFC 791 (1981), *Protocole Internet (IP)*.
<<http://www.ietf.org/rfc/rfc0791.txt?number=791>>.
- [IETF RFC 2460] IETF RFC 2460 (1998), *Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification*. (Spécification du protocole Internet version 6 (IPv6).)
<<http://www.ietf.org/rfc/rfc2460.txt?number=2460>>
- [IETF RFC 3031] IETF RFC 3031 (2001), *Multiprotocol Label Switching Architecture*. (Architecture à commutation multiprotocole avec étiquette)
<<http://www.ietf.org/rfc/rfc3031.txt?number=3031>>

3 Définitions

Les termes et définitions utilisés dans la présente Recommandation sont contenus dans les publications [UIT-T G.810], [UIT-T G.8260] et [IEEE 1588].

4 Abréviations et acronymes

La présente Recommandation utilise les abréviations et acronymes suivants:

1PPS	une impulsion par seconde (<i>one pulse per second</i>)
CDMA	accès multiple par répartition en code (<i>code division multiple access</i>)
DCF	fibres de compensation de dispersion (<i>dispersion compensating fibre</i>)
FCS	séquence de contrôle de trame (<i>frame check sequence</i>)
FDD	duplex par répartition en fréquence (<i>frequency division duplex</i>)
GBAS	système complémentaire basé sur des engins au sol (<i>ground based augmentation system</i>)
GNSS	système mondial de navigation par satellite (<i>global navigation satellite system</i>)
GPS	système mondial de positionnement (<i>global positioning system</i>)
HRPD	transmission de données en mode paquet à haut débit (<i>high rate packet data</i>)
IP	protocole Internet (<i>Internet protocol</i>)
IRNSS	système régional indien de navigation par satellite (<i>indian regional navigation satellite system</i>)
LTE	évolution à long terme (<i>long term evolution</i>)
LTE-A	évolution à long terme – évoluée (<i>long term evolution – advanced</i>)
MAC	commande d'accès au support (<i>medium access control</i>)
MBMS	service de radiodiffusion/multidiffusion multimédia (<i>multimedia broadcast/multicast service</i>).
MBSFN	services MBMS fondés sur un réseau monofréquence (<i>MBMS based on single frequency network</i>)
M2M	machine-machine (<i>machine to machine</i>)

NTP	protocole de temps réseau (<i>network time protocol</i>)
OTN	réseau de transport optique (<i>optical transport network</i>)
PDV	variation du temps de transfert des paquets (<i>packet delay variation</i>)
PHY	protocole de la couche physique (<i>physical layer protocol</i>)
PRTC	horloge de référence temporelle primaire (<i>primary reference time clock</i>)
PSN	réseau à commutation par paquets (<i>packet switched network</i>)
PTP	protocole de précision temporelle (<i>precision time protocol</i>)
QZSS	système à satellites quasi zénithal (<i>quasi-zenith satellite system</i>)
RTT	technique de transmission radioélectrique (<i>radio transmission technology</i>)
SBAS	système complémentaire basé sur des satellites (<i>satellite based augmentation system</i>)
TAI	temps atomique international (<i>international atomic time</i>)
TDD	duplex à répartition dans le temps (<i>time division duplexing</i>)
TD-SCDMA	AMRC synchrone par répartition dans le temps (<i>time domain synchronized cdma</i>)
T-BC	horloge en limite pour les télécommunications (<i>telecom boundary clock</i>)
T-GM	grand maître pour les télécommunications (<i>telecom grandmaster</i>)
T-TC	horloge transparente pour les télécommunications (<i>telecom transparent clock</i>)
T-TSC	horloge de temps asservie pour les télécommunications (<i>telecom time slave clock</i>)
UDP	protocole de datagramme utilisateur (<i>user datagram protocol</i>)
UTC	temps universel coordonné (<i>universal time co-ordinated</i>)
UTRA	Accès radioélectrique de Terre universel (<i>universal terrestrial radio access</i>)
WCDMA	AMRC à bande étendue (<i>wideband CDMA</i>)
WDM	multiplexage par répartition en longueur d'onde (<i>wavelength-division-multiplexing</i>)
WiMAX	interopérabilité mondiale pour l'accès hyperfréquence (<i>worldwide interoperability for microwave access</i>)

5 Conventions

Les conventions suivantes sont utilisées dans la présente Recommandation: les termes protocole de précision temporelle (PTP) désignent le protocole défini dans la norme [IEEE 1588]. Employé comme adjectif, il indique que le nom modifié est défini ou interprété dans le contexte de la norme [IEEE 1588].

Les termes horloge en limite pour les télécommunications (T-BC) désignent un dispositif constitué d'une horloge en limite (BC), telle que définie dans la norme [IEEE 1588], et présentant des caractéristiques de qualité de fonctionnement supplémentaires qui appellent un complément d'étude.

Les termes horloge transparente pour les télécommunications (T-TC) désignent un dispositif constitué d'une horloge transparente, telle que définie dans la norme [IEEE 1588], qui présente des caractéristiques de qualité de fonctionnement supplémentaires nécessitant un complément d'étude.

Les termes grand maître pour les télécommunications (T-GM) désignent un dispositif constitué d'une horloge grand maître (GM), telle que définie dans la norme [IEEE 1588], qui présente des caractéristiques de qualité de fonctionnement supplémentaires nécessitant un complément d'étude.

Les termes horloge de temps asservie pour les télécommunications (T-TSC) désignent un dispositif constitué d'une horloge ordinaire PTP en mode asservi uniquement, telle que définie dans la norme [IEEE 1588], qui présente des caractéristiques de qualité de fonctionnement supplémentaires nécessitant un complément d'étude.

6 Nécessité de la synchronisation de phase et de temps

La synchronisation temporelle est généralement requise pour prendre en charge les fonctions de facturation et d'alarme (maintenance ou isolement des défauts). Dans ce contexte, la synchronisation doit en général avoir une précision de l'ordre de plusieurs centaines de millisecondes.

Le contrôle des retards dans les réseaux utilisant le protocole Internet (IP) constitue une autre application de la synchronisation temporelle. En pareil cas, la précision requise est de l'ordre de plusieurs centaines de microsecondes (la précision effectivement requise dépend de l'application).

Les prescriptions rigoureuses en matière de synchronisation du temps (qui exigent une précision de l'ordre de quelques microsecondes) s'appliquent à la production de signaux sur l'interface radioélectrique de certains systèmes mobiles tels que les systèmes CDMA2000 ou LTE DRF. En mode monodiffusion, lorsqu'il est nécessaire d'assurer l'interfonctionnement CDMA2000 synchrone

La synchronisation de phase est souvent nécessaire pour répondre aux exigences de l'interface radioélectrique de certains systèmes mobiles, comme dans le cas des systèmes duplex à répartition dans le temps (DRT) (LTE DRT par exemple), ou lors de la prise en charge du service de radiodiffusion/multidiffusion multimédia (MBMS). Il convient de noter que le service WCDMA MBMS classique ne nécessite pas une synchronisation de phase précise, étant donné qu'il a été défini et conçu de façon à fonctionner de manière satisfaisante dans les réseaux qui respectent la précision en fréquence requise de 50 ppb. Cette exigence, qui est garantie par la fonction de synchronisation du noeud WCDMA (voir la norme [b-3GPP TS 25.402]), limite la dérive de phase à une valeur comprise entre 10 et 20 ms. Cependant, lorsque le service MBMS fonctionne sur un réseau à fréquence unique (MBSFN), la précision de la synchronisation doit être de l'ordre de quelques microsecondes. En effet, des formes d'ondes identiques sont transmises simultanément depuis plusieurs cellules. Les signaux provenant de ces cellules sont ensuite regroupés sous la forme de composantes multitrajets d'une cellule unique. Les terminaux doivent donc percevoir les signaux de la totalité d'un groupe de cellules d'émission comme s'ils provenaient d'une cellule unique. En conséquence, toutes les transmissions doivent être synchronisées de manière rigoureuse et fournir exactement le même contenu à chaque station de base.

On trouvera dans l'Appendice II un récapitulatif des principales exigences applicables à la sortie de l'application (par exemple à l'interface radioélectrique dans le cas d'une application hertzienne).

Sur la base du Tableau II.1, il est possible de classer les applications en catégories d'exigences, comme indiqué dans le Tableau 1 ci-dessous.

NOTE – Dans le cas des applications mobiles décrites dans le Tableau II.1, les exigences sont généralement exprimées en termes d'erreur de phase entre les stations de base. Dans le cas d'un dispositif pilote centralisé, l'exigence pourrait être exprimée sous la forme de $\pm$ la moitié de la précision minimale requise applicable à la technologie considérée. Le Tableau 1 présente l'exigence sous cette forme, afin de permettre l'analyse du bilan de l'erreur de temps réparti par une horloge de référence temporelle primaire (PRTC) en direction de l'application finale.

Tableau 1 – Catégories d'exigences en matière de temps et de phase

Degré de précision	Prescriptions en matière d'erreur temporelle (Note 1)	Applications types (pour information)
1	500 ms	Facturation, alarmes
2	100 μ s	Contrôle des retards dans les réseaux IP
3	5 μ s	LTE DRT (grande cellule)
4	1,5 μ s	UTRA-DRT, LTE-DRT (petite cellule) WiMAX-DRT (certaines configurations)
5	1 μ s	WiMAX-DRT (certaines configurations)
6	x ns (Note 3)	Diverses applications, notamment les services de géolocalisation et certaines fonctionnalités LTE-A (Note 2)
NOTE 1 – L'exigence est exprimée en termes d'erreur par rapport à une référence commune. NOTE 2 – Les caractéristiques de qualité de fonctionnement des fonctionnalités LTE-A sont à l'étude. A titre d'information seulement, on a fait état de valeurs comprises entre 500 ns et 1,5 μs pour certaines fonctionnalités LTE-A. Selon les spécifications finales qui seront élaborées par le 3GPP, les applications LTE-A pourront être gérées avec un degré de précision différent. NOTE 3 – En ce qui concerne la valeur de x, voir le Tableau II.2 de l'Appendice II.		

La présente Recommandation traite essentiellement des catégories de prescriptions plus rigoureuses que sont les degrés de précision 4, 5 et 6 indiqués dans le Tableau 1.

7 Méthodes de synchronisation de temps et de phase

On utilise en général les méthodes fondées sur les paquets (habituellement au moyen du protocole de temps réseau (NTP)) sans prise en charge du rythme dans le réseau pour assurer des applications subordonnées à des exigences de synchronisation de temps et de phase moins strictes (catégorie 1 indiquée dans le Tableau 1).

La présente Recommandation porte principalement sur les applications correspondant aux catégories 4, 5, et 6 visées dans le Tableau 1.

Pour ces applications, les options ci-après sont prises en compte dans la présente Recommandation:

- Méthode fondée sur une horloge de référence temporelle primaire (PRTC) répartie, qui met en oeuvre un récepteur du système mondial de navigation par satellite (GNSS) au niveau de l'application finale (récepteur du système mondial de positionnement (GPS) par exemple).
- Méthode fondée sur des paquets, avec prise en charge du rythme de noeuds intermédiaires.

NOTE – Le recours à des méthodes fondées sur des paquets sans prise en charge du rythme des noeuds intermédiaires et la définition de la catégorie d'exigences figurant dans le Tableau 1 qu'elles peuvent prendre en charge appellent un complément d'étude.

On trouvera dans les paragraphes qui suivent des renseignements sur les caractéristiques des différentes méthodes de synchronisation.

7.1 Horloge PRTC répartie

Pour assurer la synchronisation de temps et de phase, une méthode consiste à diffuser directement un signal de synchronisation dans chaque horloge du réseau. Cette méthode, appelée "horloge de référence temporelle primaire répartie", est généralement utilisable avec la distribution radioélectrique, étant donné qu'une distribution filaire à l'échelle du réseau nécessiterait un réseau supplémentaire complet, ce qui pourrait être difficile à mettre en place. Toutefois, dans certains cas, une distribution à distance du signal PRTC par câble pourrait également être envisagée. La distribution radioélectrique est en principe assurée au moyen d'un système GNSS, par exemple le système GPS. D'autres systèmes radioélectriques peuvent également être utilisés.

Le principal objectif d'un réseau de synchronisation est de synchroniser les applications finales qui nécessitent une référence de temps. S'il existe plusieurs applications finales sur un même site, une référence PRTC unique peut être déployée sur ce site et la référence de temps/phase peut de nouveau être distribuée à l'intérieur du site à partir d'une fonction centralisée. La description détaillée de la fonction centralisée doit faire l'objet d'un complément d'étude.

La Figure 1 ci-dessous est une représentation générique de la méthode fondée sur l'horloge PRTC répartie. Dans le cas d'une synchronisation reposant sur un système GNSS, le signal de rythme de référence est diffusé par les signaux du satellite et le récepteur du système GNSS fait fonction d'horloge PRTC du réseau. Le récepteur (RX sur la figure) traite le signal GNSS et extrait un signal de référence pour les applications finales.

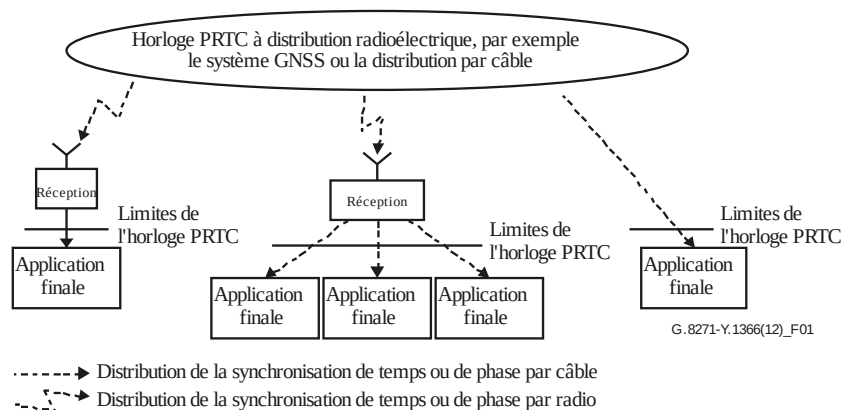


Figure 1 – Exemple de réseau de synchronisation PRTC réparti

Principales caractéristiques

L'un des principaux avantages d'une méthode fondée sur une horloge PRTC répartie est que les signaux de rythme de référence sont disponibles dans le monde entier dans le cas du système GNSS. Cette méthode permet également une hiérarchie de répartition plate sans risque de boucles de rythme. En général, la planification d'ensemble du réseau est également plus facile.

Les principaux inconvénients de cette méthode sont que l'opérateur dépend du système de navigation, qu'il faut disposer d'une antenne offrant une grande vue angulaire du ciel, tenir compte de la nécessité d'assurer une protection contre la foudre, et remédier aux problèmes liés aux câbles de l'antenne.

Enfin, les systèmes reposant sur le GNSS comportent des risques de brouillage, par exemple par les systèmes de télévision, de saturation, et de brouillages intentionnels.

Il convient toutefois de souligner que l'évolution de cette technologie atténue certains des principaux inconvénients (par exemple installation, fiabilité, etc.). De plus, il devrait être possible de sécuriser les récepteurs GNSS, par exemple lorsqu'il existe une référence de fréquence précise, telle qu'un signal Ethernet synchrone. Les options permettant de sécuriser les récepteurs GNSS nécessitent un complément d'étude.

S'agissant de la qualité de fonctionnement, la précision qui peut être obtenue au moyen d'un système PRTC doit être étudiée de manière plus approfondie.

7.2 Méthodes fondées sur les paquets avec prise en charge du rythme des noeuds intermédiaires

La synchronisation du temps peut être répartie par l'intermédiaire de protocoles de synchronisation tels que le protocole PTP (voir la norme [IEEE 1588]). La présente recommandation porte principalement sur les cas dans lesquels la référence de temps est acheminée avec prise en charge dans le réseau.

La prise en charge du rythme dans les noeuds intermédiaires (commutateurs Ethernet par exemple) concerne certaines fonctions de synchronisations matérielles et logicielles (voir la Figure 2).

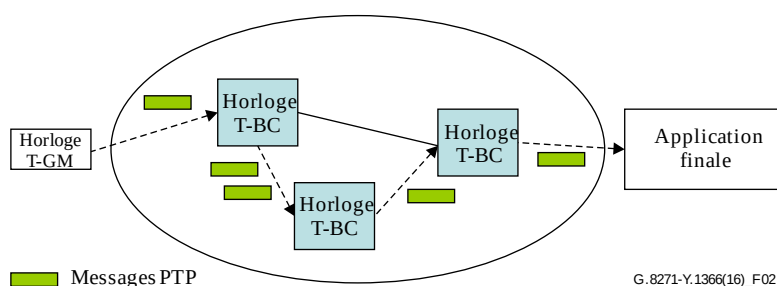


Figure 2 – Exemple de méthode fondée sur les paquets avec prise en charge dans les noeuds de réseau

Dans le cas du protocole PTP, ces fonctions peuvent correspondre soit à l'horloge T-BC, soit à l'horloge T-TC, avec horodatage matériel aux interfaces correspondantes.

L'horloge T-BC constitue la terminaison des messages d'horodatage et recrée des messages d'horodatage.

L'horloge T-TC permet de mesurer les retards qui ont été ajoutés par l'élément réseau ainsi que par les liaisons connectées à l'élément réseau. La présente Recommandation ne prend en compte que la prise en charge par l'horloge T-BC dans cette version. L'utilisation de l'horloge T-TC dans les applications de télécommunication doit faire l'objet d'un complément d'étude.

La figure ci-après représente un exemple de synchronisation de phase/de temps répartie à l'aide de méthodes fondées sur des paquets, avec prise en charge du rythme par le réseau. Une fonction d'horloge pilote en mode paquet dans une horloge T-GM ayant accès à un signal de rythme de référence conforme aux limites de l'horloge PRTC constitue l'origine de la distribution du rythme en mode paquet et chaque noeud de transport met en oeuvre une horloge T-BC.

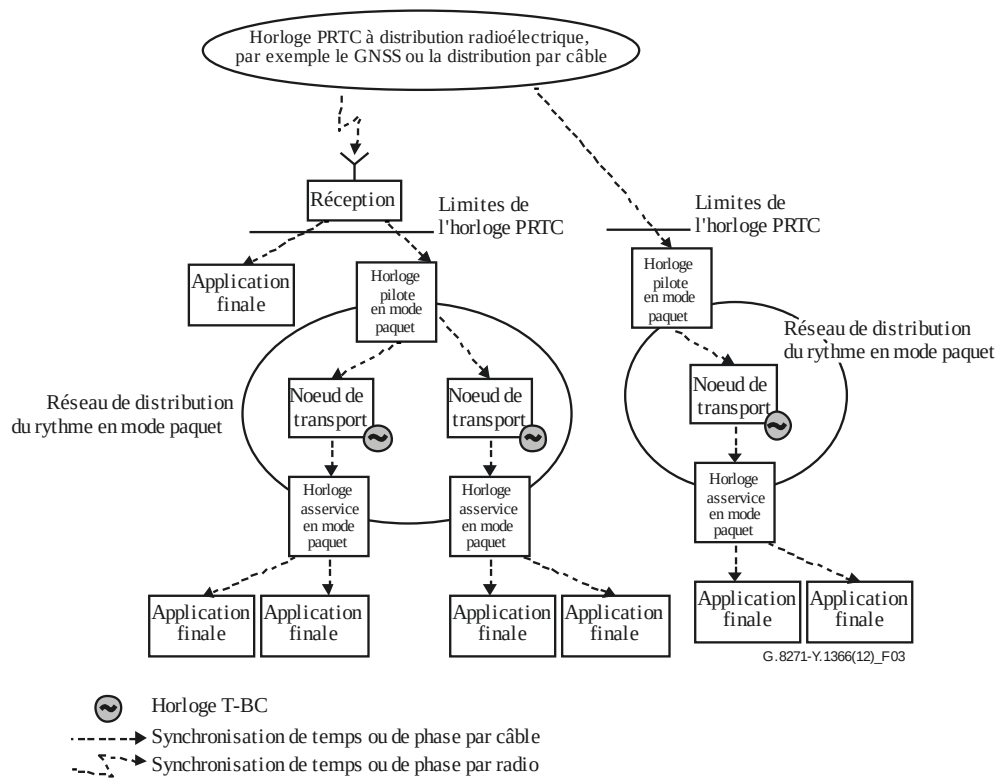


Figure 3 – Exemple de synchronisation temporelle distribuée à l'aide de méthodes fondées sur les paquets

Principales caractéristiques

Le principal avantage d'une solution de distribution de la synchronisation temporelle à l'aide de méthodes fondées sur les paquets est la réduction importante du nombre de récepteurs GNSS. Il convient de noter que si l'horloge PRTC est basée sur le GNSS, des récepteurs GNSS seront alors nécessaires aux emplacements des horloges PRTC.

Au nombre des inconvénients, il y a lieu de noter que la planification du réseau est plus complexe dans ce cas, (par exemple des boucles de rythme risquent d'être créées). De plus, il faut également tenir compte de l'accumulation de bruit. Enfin, cette méthode pose un autre problème, à savoir l'erreur de temps due aux asymétries dans le réseau, erreur qui doit être corrigée (ce qui suppose par exemple, l'étalonnage de la longueur des fibres).

8 Modèle de référence de réseau

La Figure 4 décrit le modèle de référence de réseau utilisé pour définir les objectifs en matière de qualité de fonctionnement de la synchronisation de temps et de phase.

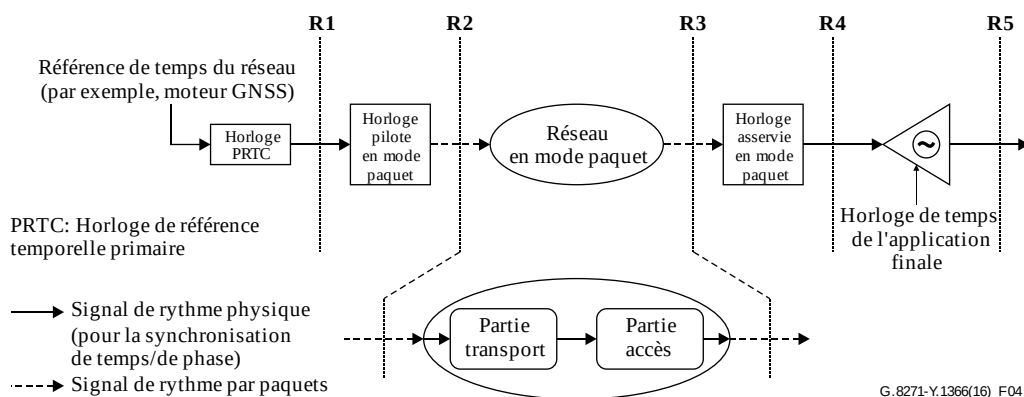


Figure 4 – Modèle de référence de réseau

Les points de référence ci-après sont définis. Toutes les prescriptions relatives à ces points de référence sont définies vis-à-vis d'une référence de temps commune, c'est-à-dire une référence de temps reconnue telle que le temps GPS.

- R1: sortie de l'horloge PRTC
- R2: sortie de l'horloge pilote en mode paquet
- R3: entrée de l'horloge asservie en mode paquet
- R4: sortie de l'horloge asservie en mode paquet
- R5: sortie de l'application finale

Dans certains cas on sera peut-être amené à tenir compte de certaines technologies d'accès particulières dans le modèle de référence de réseau. Ainsi, le réseau en mode paquet entre les points R2 et R3 peut parfois comprendre une partie transport et une partie accès. Chaque partie comportera alors son propre bilan de phase/de temps établi à partir des mécanismes propres au support qui ont été élaborés pour transporter la synchronisation de fréquences et de temps.

NOTE 1 – Sur la Figure 4, l'horloge pilote en mode paquet pourrait correspondre à une horloge T-GM et l'horloge asservie en mode paquet pourrait correspondre à une horloge T-TSC (horloge de temps asservie pour les télécommunications).

NOTE 2 – Les études en cours relatives à la qualité de fonctionnement reposent sur la prise en charge complète du rythme dans le réseau avec horodatage matériel (par exemple, horloge T-BC dans chaque noeud dans le cas de la norme [IEEE 1588]) avec ou sans prise en charge de la synchronisation en fréquence dans la couche physique (prise en charge via l'Ethernet synchrone par exemple).

NOTE 3 – Dans certains cas, on sera peut-être amené à tenir compte de certaines technologies d'accès particulières dans le modèle de référence de réseau. Ainsi, le réseau en mode paquet entre les points R2 et R3 peut parfois comprendre une partie transport et une partie accès. Chaque partie comportera alors son propre bilan de phase/temps. Dans d'autres scénarios, par exemple dans les réseaux de raccordement vers l'avant, le segment d'accès peut être positionné sur le point R4, entre l'horloge asservie en mode paquet et l'application finale. La définition des modèles de référence de réseau prenant en compte les technologies d'accès appelle un complément d'étude.

Le cas de la prise en charge partielle du rythme appelle un complément d'étude.

Le bilan global se rapporte au point de mesure "R5" (c'est-à-dire l'erreur de temps au point R5 par rapport à la référence de temps commune).

"R1", "R2", "R3" et "R4" définissent les autres points de référence pertinents pour les mesures et les limites du réseau correspondantes, qui indiquent également le bilan de bruit pouvant être attribué aux segments pertinents du réseau (par exemple "R1 à R3", "R1 à R4", etc.).

Les points de mesure présentant de l'intérêt pour une application donnée peuvent dépendre du lieu où s'appliquent les frontières du domaine administratif du réseau.

De plus, comme indiqué ci-dessus, il faut dans certains cas effectuer la mesure sur un signal de rythme bidirectionnel, ce qui nécessitera l'utilisation d'un montage de mesure et de paramètres précis.

Le montage de mesure pour les signaux de rythme bidirectionnels ainsi que le bruit qui peut être ajouté par les équipements de test pour les mesures doivent faire l'objet d'un complément d'étude.

On peut aussi procéder à la mesure en utilisant une référence externe de phase/temps de sortie spéciale, par exemple une interface 1PPS. On trouvera dans l'Annexe A de la présente Recommandation des indications sur ce type d'interface.

8.1 Partie accès du modèle HRM avec protocole PTP/fonction IWF d'accès natif

Le modèle général de référence du réseau décrit sur la Figure 4 peut encore être développé pour illustrer différents types de technologies d'accès susceptibles d'être utilisées en bordure du réseau, par exemple l'accès hyperfréquence, les lignes DSL ou les réseaux PON.

Les technologies d'accès peuvent généralement être classées comme des technologies partagées point à multipoint ou des technologies point à point. Comme exemple de technique de partage de support point à multipoint, on peut citer un réseau PON avec une extrémité proche unique à ports multiples et plusieurs dispositifs terminaux. Comme exemple de technique point à point, on peut citer un système hyperfréquences. La Figure 5 présente de manière détaillée la partie accès pour illustrer la conversion de média qui intervient entre la technologie Ethernet formant la synchronisation existante du modèle HRM de la partie transport et les technologies de la partie accès du modèle HRM. Le bilan de l'erreur de temps de cette partie peut dépendre du type de technologie considéré.

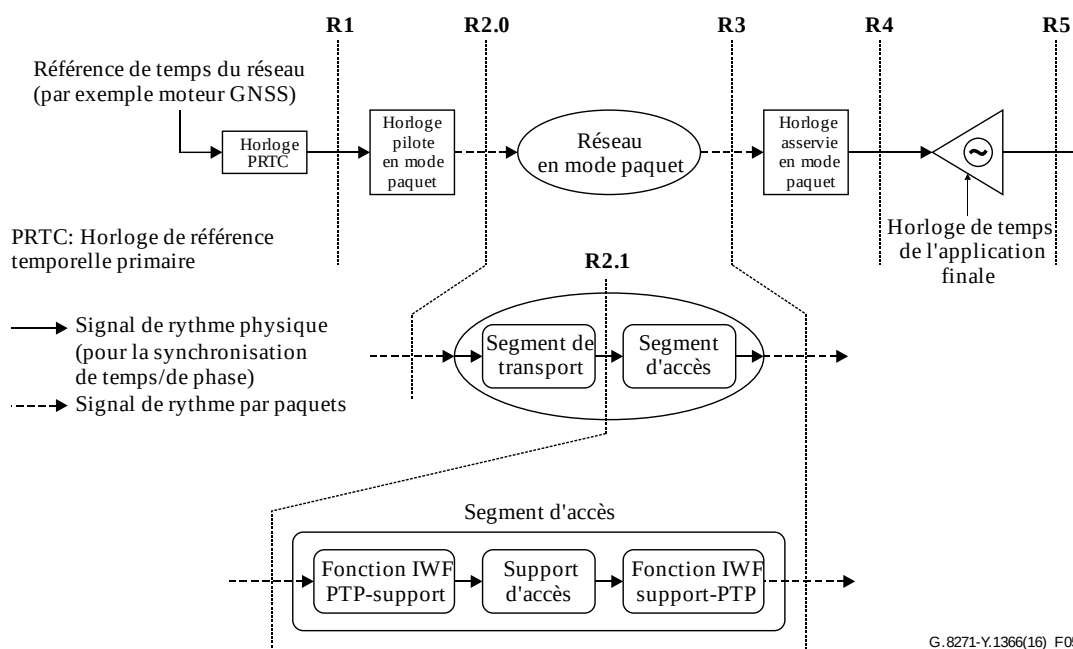


Figure 5 – Modèle de référence de réseau avec partie accès

Ainsi, entre R2.0 et R2.1, le segment de transport comprend une chaîne de réseau (Recommandation [UIT-T G.8271.1]) composée d'horloges T-BC UIT-T G.8273.2 prenant intégralement en considération le rythme et utilisant le protocole PTP et l'Ethernet synchrone (SyncE). Entre R2.1 et R3.0 du segment d'accès, il peut également y avoir des horloges T-BC, qui sont en pareil cas connectées avec et depuis des horloges avec accès natif. Ces horloges avec accès natif assurent la connexion directe avec le support. Pour l'essentiel, l'horloge T-BC et l'horloge avec accès natif fournissent une fonction d'interfonctionnement (IWF) qui assure la conversion entre l'Ethernet acheminant le protocole PTP et le support d'accès.

Le segment d'accès présentera une erreur de temps qui est une combinaison des composantes constantes et dynamiques du support et de la contribution des horloges dans le segment d'accès.

9 Interfaces de synchronisation de temps et de phase

Des interfaces de synchronisation de temps et de phase sont nécessaires aux fins suivantes:

1) Interface de mesure:

Pour permettre aux opérateurs de réseau de mesurer la qualité de la synchronisation de temps/phase répartie le long d'une chaîne de synchronisation, chaque horloge PRTC, T-GM, T-BC et T-TSC doit mettre en oeuvre une interface spéciale de sortie de phase/temps externe.

Une interface d'une impulsion par seconde (1PPS) constitue une interface de mesure appropriée et devrait être mise en oeuvre conformément à l'une des interfaces décrites dans l'Annexe A. Les autres interfaces de mesure doivent faire l'objet d'un complément d'étude.

2) Interfaces de distribution:

Des interfaces de synchronisation de temps et de phase sont parfois nécessaires pour connecter les systèmes appartenant à une chaîne de distribution de synchronisation de temps/phase.

Une application type est le cas d'une horloge T-TSC connectée à une application finale, par exemple une station de base, qui est équipée d'une interface de sortie existante à 1PPS. La description détaillée des interfaces de distribution appelle un complément d'étude.

La Figure 6 donne des exemples des deux types d'interfaces de synchronisation de temps et de phase, à savoir les interfaces de mesure (point de référence 1) et les interfaces de distribution (point de référence 2). Différentes prescriptions peuvent s'appliquer à ces points.

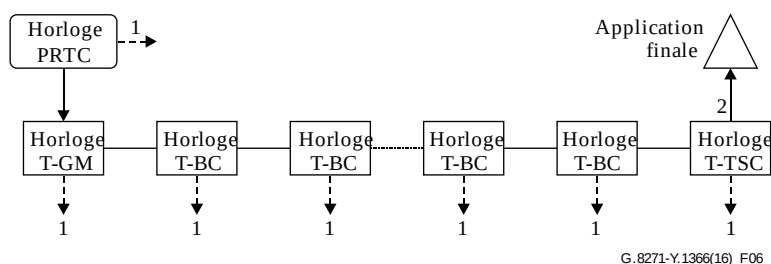


Figure 6 – Emplacements possibles des interfaces externes de temps et de phase dans une chaîne d'horloges en limite pour les télécommunications

Annexe A

Spécification de l'interface de synchronisation de temps et de phase à une impulsion par seconde (1PPS)

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

A.1 Interface UIT-T V.11 à 1PPS

L'interface de temps/phase à 1PPS utilise une interface UIT-T V.11 point à point telle que décrite dans [UIT-T V.11], avec une prescription additionnelle relative aux temps de montée/descente du signal à 1PPS défini dans [UIT-T G.703]. Cette prescription est nécessaire afin d'assurer la précision requise du signal à 1PPS.

Cette interface peut être utilisée pour la distribution de la synchronisation du temps ainsi que pour la mesure du temps.

L'interface est une interface équilibrée qui peut admettre un bruit en mode commun important.

L'interface à 1PPS comprend un signal différentiel à 1PPS équilibré de 100 ohms qui peut être utilisé pour assurer la connexion avec l'horloge suivante ou avec un équipement de mesure.

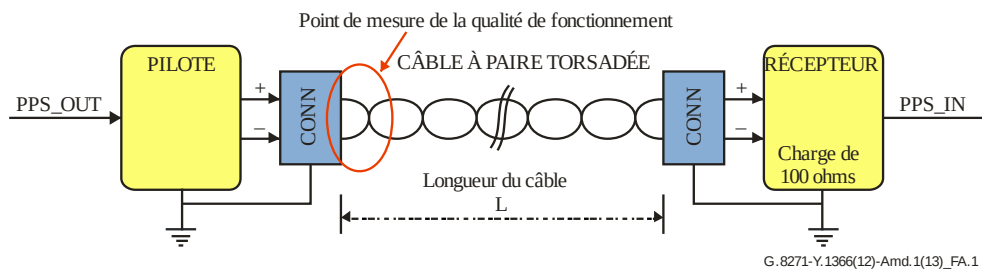


Figure A.1 – Interface V.11 équilibrée à 1PPS

A.1.1 Signaux d'interface

Les signaux de cette interface sont définis dans le présent paragraphe de la façon suivante:

- 1PPS_OUT+/1PPS_OUT-: Cette paire de signaux de sortie indique qu'un événement significatif se produit sur le flanc de montée du signal et est généré par l'horloge de temps pilote.
- 1PPS_IN+/1PPS_IN-: Cette paire de signaux de sortie indique qu'un événement significatif se produit sur le flanc de montée du signal et est utilisée par l'horloge de temps asservie.
- TX+/TX-: Cette paire de signaux de sortie est utilisée pour un canal de communication série aux fins du transfert de messages de temps et de messages d'état entre l'horloge de temps pilote et l'horloge de temps asservie.
- RX+/RX-: Cette paire de signaux de sortie est utilisée pour un canal de communication série aux fins du transfert de messages entre l'horloge de temps pilote et l'horloge de temps asservie.

Le connecteur est défini dans [UIT-T G.703], qui décrit les aspects physiques de cette interface.

La connexion nécessite l'utilisation d'un câble croisé qui connecte les paires de signaux comme indiqué dans le Tableau A.1.

Tableau A.1 – Connexions par câble

Connecteur A	Connecteur B
1PPS_OUT+/1PPS_OUT-	1PPS_IN+/1PPS_IN-
1PPS_IN+/1PPS_IN-	1PPS_OUT+/1PPS_OUT-
TX+/TX-	RX+/RX-
RX+/RX-	TX+/TX-
NOTE – Les signaux figurant dans le Tableau A.1 ne seront pas tous forcément nécessaires en même temps (par exemple, un seul sens pourra suffire dans certains cas). Le sens arrière du canal de messagerie appelle un complément d'étude.	

A.1.2 Compensation automatique du retard dans le câble (facultatif)

A titre facultatif, l'interface UIT-T V.11 à 1PPS peut prendre en charge la compensation automatique du retard dans le câble. L'interface améliorée UIT-T V.11 à 1PPS permet également la prise en charge de la compensation automatique du câble et de l'émetteur-récepteur UIT-T V.11 au moyen d'une boucle de rétroaction qui permet à l'horloge de temps pilote de mesurer le temps de propagation aller-retour du signal à 1PPS et de compenser le retard de trajet lors de l'émission du signal à 1PPS.

Le signal à 1PPS est généré dans un premier temps par l'horloge de temps pilote à la limite d'une seconde, T1. Ce signal est retardé dans le câble avant de parvenir à l'horloge de temps asservie. Le signal à 1PPS est renvoyé en boucle à l'horloge asservie, puis est envoyé à l'horloge de temps pilote. L'horloge de temps pilote recueille l'heure de réception du signal à 1PPS auprès de l'horloge de temps asservie, T2, et mesure le temps de propagation aller-retour comme le temps écoulé depuis l'émission du signal à 1PPS.

A supposer que le trajet soit symétrique, l'horloge de temps pilote calcule le retard moyen du câble à l'aide de la formule: $(T2 - T1)/2$ et compense les retards du câble en avançant le signal à 1PPS du retard moyen du câble, ou sinon informe l'horloge de temps asservie du retard moyen du câble par l'intermédiaire du canal de communication série UIT-T V.11, afin que l'horloge de temps asservie puisse procéder à la compensation.

Le protocole utilisé sur le canal de communication série est défini au paragraphe A.1.3 ci-dessous.

L'horloge de temps asservie effectue une mise en boucle du signal à 1PPS un certain temps après l'émetteur-récepteur UIT-T V.11.

A.1.3 Canal de communication série

A.1.3.1 Caractéristiques de transmission

Les caractéristiques ci-après s'appliquent au canal de communication série:

- 1) Le débit en baud par défaut est de 9 600, sans contrôle de parité.
- 2) Lorsque les données de chaque octet sont envoyées, elles doivent comprendre un bit de départ, indiqué par un faible niveau de tension, des données à huit bits et un bit de fin, indiqué par un niveau de tension élevé. Pendant l'intervalle sans transmission de données, un niveau de tension élevé doit être maintenu.
- 3) Les données du message devraient être envoyées au moins 1ms après le front montant du signal à 1PPS dans un délai de 500 ms.
- 4) Le message représente le moment auquel débute le signal actuel à 1PPS.
- 5) Les messages devraient être envoyés une fois par seconde.

A.1.3.2 Structure du message

La structure du message est définie dans la Figure A.2:

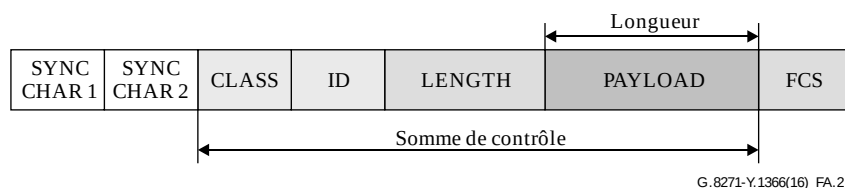


Figure A.2 – Structure du message TOD

Chaque message est un multiple de 8 bits (octets) avec séquence de contrôle de trame (FCS). Les messages sont identifiés par le message CLASS et le message ID. L'ordre de transmission des octets à l'intérieur de champs à plusieurs octets devrait être conforme aux règles selon lesquelles les bits sont classés par poids décroissants, c'est-à-dire avec l'octet de plus fort poids en premier et l'octet de plus faible poids en dernier. La transmission des bits à l'intérieur d'un octet devrait être comprise entre le bit 0 et le bit 7. La transmission de la charge utile devrait commencer à partir de la position 0 (voir les Tableaux A.3, A.5 et A.7).

Plusieurs messages peuvent être envoyés sur le canal de communication série. Les messages peuvent être envoyés soit sans retard entre les messages, soit avec un retard différent de zéro entre les messages. Cependant, la transmission de tous les messages doit être achevée dans le délai indiqué au § A.1.3.1.

L'interprétation de chaque champ de messages la suivante:

- 1) Début du message
Le début d'un message comporte deux octets: SYNC CHAR 1 et SYNC CHAR 2. Ces deux octets sont utilisés pour l'alignement des messages. Une valeur commune de 0x43 et 0x4D a été attribuée à chaque octet représentant respectivement les caractères ASCII "C" et "M".
- 2) En-tête
L'en-tête du message comprend les sous- champs CLASS (1 octet) et le message ID (1 octet). CLASS indique le type de base du message. ID est codé au niveau du sous- type de chaque catégorie de message.
- 3) Longueur
Le champ de longueur comporte deux octets qui indiquent la longueur de la charge utile (à l'exclusion de la longueur des champs Sync Char 1, Sync Char 2, Header, Length et FCS).
- 4) Charge utile
Le champ de la charge utile contient le contenu du message. La longueur de ce champ peut varier, en fonction du type de message.
- 5) Séquence FCS
La séquence FCS comporte un octet. La somme de contrôle comprend le message Header, Length, Payload et FCS. Le polynôme générateur de FCS est $G(x) = x^8 + x^5 + x^4 + 1$. La valeur initiale du champ devrait être mise à 0xFF. Il convient d'utiliser l'opération de décalage à droite. Il ne doit être procédé à aucune inversion de bits de la valeur d'entrée et de sortie. L'ordre de transmission de l'octet devrait être le même que l'ordre des bits d'autres octets de données.

A.1.3.3 Contenu du message

Il existe trois types de messages définis pour le canal de communication série de l'interface V.111 à PPS:

- **Message d'événement de temps** – informations d'horodatage et de traçabilité de base
Ce message est généralement transmis par tous les types d'horloges utilisant cette interface.
- **Message d'annonce de temps** – message d'annonce PTP virtuel
Ce message est généralement transmis par une horloge PTP.
- **Message de situation du GNSS** – donne des informations sur la situation d'un récepteur de signaux horaires du GNSS
Ce message est généralement transmis par une horloge employant le système GNSS.

Message d'événement de temps

Ce message est utilisé pour obtenir en sortie l'heure du jour via l'interface V.111 à PPS.

Tableau A.2 – Message d'événement de temps

Nom	Message d'événement de temps						
Description	Information d'événement de temps						
Type	Signalé à chaque seconde						
Structure de trame	Sync Char 1	Sync Char 2	Class	ID	Length	Payload	FCS
	0x43	0x4D	0x01	0x01	0x000E	Voir le Tableau A.3	Voir le § A.1.3.2

Tableau A.3 – Charge utile du message d'événement de temps

Décalage	Longueur (octets)	Nom	Notes
0	6	Temps	Secondes PTP (entier non signé codé sur 48 bits)
6	1	Réservé	Réservé
7	1	Fanions	Bit 0: leap61 – seconde intercalaire positive en instance Bit 1: leap59 – seconde intercalaire négative en instance Bit 2: décalage UTC valable Bit 3: réservé Bit 4: timeTraceable – temps qui peut être calé sur un temps étalon primaire Bit 5: frequencyTraceable – fréquence qui peut être calée sur une fréquence étalon primaire Bits 6, 7: réservé
8	2	currentUTCOffset	Valeur actuelle du décalage entre les temps TAI et le temps UTC (c'est-à-dire TAI – UTC)
10	4	Réservé	Réservé

Message d'annonce de temps

Ce message est utilisé pour obtenir en sortie la qualité et la traçabilité du temps émis via l'interface V.11 à 1PPS de l'équipement contenant une horloge PTP.

L'utilisation de ce message sur une interface de sortie d'une horloge PRTC appelle un complément d'étude, sauf si l'équipement contenant une horloge PRTC contient également une horloge T-GM.

Les champs de ce message sont des copies directes des champs nommés équivalents du message d'annonce PTP, tels qu'ils sont décrits dans la norme [IEEE 1588]. Une horloge PTP recevant les informations ToD peut considérer que ces informations ont été reçues sur un port PTP virtuel conformément au profil PTP pertinent (par exemple [UIT-T G.8275.1]).

Tableau A.4 – Message d'annonce de temps

Nom	Message d'annonce de temps						
Description	Donne des renseignements sur la qualité et la traçabilité de la source de temps équivalents à ceux contenus dans un message d'annonce PTP						
Type	Signalé à chaque seconde						
Structure de trame	Sync Char 1	Sync Char 2	Class	ID	Length	Payload	FCS
	0x43	0x4D	0x01	0x02	0x0020	Voir le Tableau A.5	Voir le § A.1.3.2

Tableau A.5 – Charge utile du message d'annonce de temps

Décalage	Longueur (octets)	Nom	Notes
0	1	versionPTP	Numéro de la version du protocole PTP
1	1	domainNumber	Numéro de domaine PTP
2	2	flagField	Champ Fanion PTP (voir la Note)
4	8	sourcePortIdentity.clockIdentity	"clockIdentity" de l'horloge d'émission
12	2	sourcePortIdentity.portNumber	Numéro de port du port PTP virtuel d'émission
14	1	grandmasterPriority1	Valeur de "priority1" du grand maître PTP
15	1	grandmasterPriority2	Valeur de "priority2" du grand maître PTP
16	1	grandmasterClockQuality clockClass	"clockClass" du grand maître PTP
17	1	grandmasterClockQuality clockAccuracy	"clockAccuracy" du grand maître PTP
18	2	grandmasterClockQuality offsetScaledLogVariance	"offsetScaledLogVariance" du grand maître PTP
20	8	grandmasterClockIdentity	"clockIdentity" du grand maître PTP
28	2	stepsRemoved	"StepsRemoved" en provenance du grand maître PTP

Tableau A.5 – Charge utile du message d'annonce de temps

Décalage	Longueur (octets)	Nom	Notes
30	1	timeSource	Type de source de temps fournie par le grand maître PTP
31	1	Reserved	Réservé
NOTE – Cela est copié directement du champ flagfield de la partie en-tête du message d'annonce PTP, même si certains des fanions ne sont pas pertinents.			

Message d'état GNSS

Ce message est utilisé pour produire l'état ou les alarmes des récepteurs GNSS via l'interface V.11 à 1PPS d'une horloge PRTC. En principe, il n'est pas produit par une horloge PTP, sauf si les messages sont contenus dans les mêmes équipements qu'un récepteur de signaux horaires GNSS.

Tableau A.6 – Message d'état GNSS

Nom	Message d'état GNSS						
Description	Etat actuel du récepteur de signaux horaires GNSS						
Type	Signalé à chaque seconde						
Structure de trame	Sync Char 1	Sync Char 2	Class	ID	Length	Payload	FCS
	0x43	0x4D	0x01	0x03	0x0008	Voir le Tableau A.7	Voir le § A.1.3.2

Tableau A.7 – Charge utile du message d'état GNSS

Décalage	Longueur (octets)	Nom	Notes
0	1	Types de sources de temps	0x00: Beidou (Compass) 0x01: GPS 0x02: PTP 0x03: Galileo 0x04: Glonass 0x05: QZSS 0x06: IRNSS 0x07: GNSS (Combinaison de constellations) 0x08: inconnu (dans le cas où il n'existe aucune information sur l'échelle de temps GNSS qui est réellement utilisée ni aucune mesure possible pour obliger le module à fonctionner avec une échelle de temps GNSS donnée) 0x09 ~ 0xFF: réservé

Tableau A.7 – Charge utile du message d'état GNSS

Décalage	Longueur (octets)	Nom	Notes
1	1	Etat de la source de temps	Type de position GNSS 0x00: pas de position 0x01: navigation à l'estime seulement 0x02: position 2D 0x03: position 3D 0x04: GNSS + navigation à l'estime combinée 0x05: position heure seulement 0x06: A-GNSS 0x07: GNSS + SBAS 0x08: GNSS + GBAS 0x09 ~ 0xFF: réservé
3	2	Contrôle de l'état des alarmes	Etat de l'alarme de la source de temps: Bit 0: non utilisé Bit 1: antenne ouverte Bit 2: antenne court-circuitée Bit 3: pas de poursuite des satellites Bit 4: non utilisé Bit 5: étude en cours Bit 6: aucune position mémorisée Bit 7: seconde intercalaire en instance Bit 8: en mode test Bit 9: la solution GNSS (c'est-à-dire la position et le temps obtenus) est incertaine Bit 10: non utilisé Bit 11: Almanach incomplet Bit 12: une impulsion PPS a été générée Bit 13 ~ Bit 15: Réserve
4	4	Réserve	Réserve

A.2 Interface de mesure de la synchronisation de phase à 50 Ω et à 1PPS

L'interface à 1PPS comprend un signal asymétrique à 50 Ω et à 1PPS qui peut être utilisé pour la connexion à l'équipement de mesure (voir la Figure A.3).

Les caractéristiques physiques de cette interface sont définies dans [UIT-T G.703].

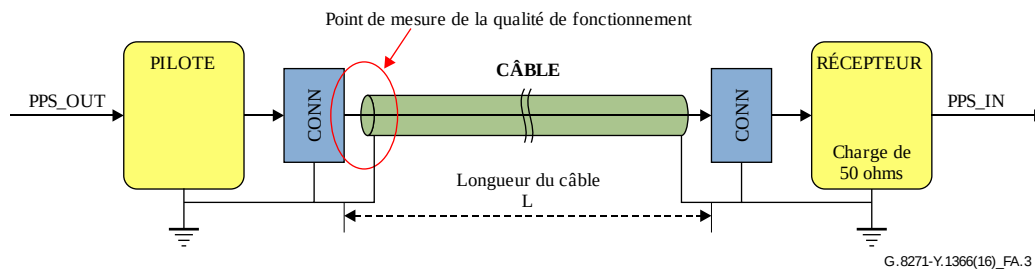


Figure A.3 – Interface de mesure asymétrique à 1PPS et à 50 Ω

Le système doit compenser les retards internes dans le système pour faire en sorte que le rythme du signal à 1PPS soit respecté au bord du boîtier.

L'équipement de mesure est censé compenser les retards associés à l'interconnexion de l'interface à 1PPS.

Appendice I

Sources de bruit de temps et de phase dans les chaînes de distribution du temps

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

Il est indispensable de quantifier les sources d'erreurs dans la chaîne de distribution du temps lors du processus consistant à définir le bilan de bruit dans le modèle de référence de réseau.

Les sources d'erreurs énumérées dans le présent appendice reposent sur un réseau avec prise en charge complète du rythme par les horloges en limite pour les télécommunications (T-BC).

En l'absence de prise en charge du rythme dans certains des noeuds (ou dans la totalité des noeuds), il y a lieu de prendre en considération d'autres sources de bruit. Cette question doit faire l'objet d'un complément d'étude.

Les sources de bruit dues à la prise en charge du rythme par des horloges transparentes pour les télécommunications (T-TC) appellent également un complément d'étude.

I.1 Bruit introduit par une horloge de référence temporelle primaire (PRTC)

On trouvera dans le tableau ci-dessous les sources d'erreur dans une horloge PRTC.

	Source d'erreur	Explication/hypothèses
1	Erreur de temps de référence	Voir le § I.7.1

I.2 Bruit introduit par une fonction de l'horloge pilote en mode paquet

On trouvera dans le tableau ci-dessous les sources d'erreur dans une fonction de l'horloge pilote en mode paquet. La fonction de l'horloge pilote en mode paquet peut faire partie d'un grand maître pour les télécommunications (T-GM) ou d'une horloge T-BC.

	Source d'erreur	Explication/hypothèses
1	Asymétrie de latence du protocole de la couche physique (PHY) – interne à tous les noeuds	Voir le § I.7.2

I.3 Bruit introduit par une fonction de l'horloge asservie en mode paquet

On trouvera dans le tableau ci-dessous les sources d'erreur dans une fonction de l'horloge asservie en mode paquet. La fonction de l'horloge asservie en mode paquet peut faire partie d'une horloge de temps asservie pour les télécommunications (T-TSC) ou d'une horloge T-BC.

	Source d'erreur	Explication/hypothèses
1	Bruit de phase de l'oscillateur local	Voir le § I.7.4
2	Asymétrie de latence de la couche PHY interne à tous les noeuds	Voir le § I.7.2
3	Granularité de l'horodatage	Voir le § I.7.3
4	Erreur de phase de la référence de fréquence	Voir le § I.7.5
5	Transitoires de temps	Voir le § I.7.6

I.4 Bruit introduit par une horloge transparente pour les télécommunications

Les sources d'erreurs dans une horloge transparente pour les télécommunications doivent faire l'objet d'un complément d'étude.

I.5 Bruit introduit par une liaison

On trouvera dans le tableau ci-dessous les sources d'erreurs dans une liaison.

	Source d'erreur	Explication/hypothèses
1	Asymétrie des liaisons	Voir le § I.7.7

I.6 Calcul de l'asymétrie des retards

La Figure I.1 illustre les retards entre une fonction d'horloge asservie en mode paquet, ou demandeur, (appelée horloge asservie dans le présent paragraphe), et une fonction d'horloge pilote en mode paquet, ou répondeur (appelée horloge pilote dans le présent paragraphe). Le temps de propagation moyen est mesuré au niveau de l'horloge asservie après l'échange de messages d'événements. Si le mécanisme de demande/réponse est utilisé pour le temps de propagation (voir la norme [IEEE 1588]), l'horloge asservie envoie le message Delay_Req et l'horloge pilote envoie le message Delay_Resp et, séparément, les messages Sync et Follow_Up (autrement dit, l'envoi des messages Sync et Follow_Up ne fait pas partie de l'échange de messages Delay_Req/Delay_Resp; le message Follow_Up est envoyé si, et seulement si, l'horloge est en deux étapes). Si le mécanisme entre homologues est utilisé (voir la norme [IEEE 1588]), l'horloge asservie envoie le message Pdelay_Req et l'horloge pilote envoie le message Pdelay_Resp et, si l'horloge est en deux étapes, le message Pdelay_Resp_Follow_Up.

La figure représente les points effectifs de la pile de protocoles de chaque horloge dans laquelle des horodateurs sont générés, une fois que les corrections éventuelles des temps de latence d'entrée et de sortie ont été effectuées (voir le § 7.3.4 et la Figure 19 de la norme [IEEE 1588]). Théoriquement, ces points seront situés au niveau du plan de référence, c'est-à-dire au point marquant la limite entre la couche PHY et le support physique du réseau. Cependant, dans la pratique, les corrections des temps de latence d'entrée et de sortie ne sont pas parfaites et les points effectifs auxquels les horodateurs sont générés sont différents du plan de référence. Les retards entre les points effectifs auxquels les horodateurs sont choisis et le plan de référence sont désignés par $d_{tx}^{PHY,M}$ et $d_{rx}^{PHY,M}$ pour la sortie et l'entrée, respectivement, au niveau de l'horloge pilote, et par $d_{tx}^{PHY,S}$ et $d_{rx}^{PHY,S}$ pour la sortie et l'entrée, respectivement, au niveau de l'horloge asservie. Dans cette notation, l'indice t (émission) est utilisé pour la sortie et l'indice r (réception) est utilisé pour l'entrée. En général, ces quatre quantités peuvent toutes être différentes.

La figure représente également les retards sur la liaison, qui sont mesurés entre le plan de référence d'une horloge et le plan de référence de l'autre horloge. Le retard entre l'horloge pilote et l'horloge asservie est désigné par d_{ms}^{link} , et le retard entre l'horloge asservie et l'horloge pilote est désigné par d_{sm}^{link} .

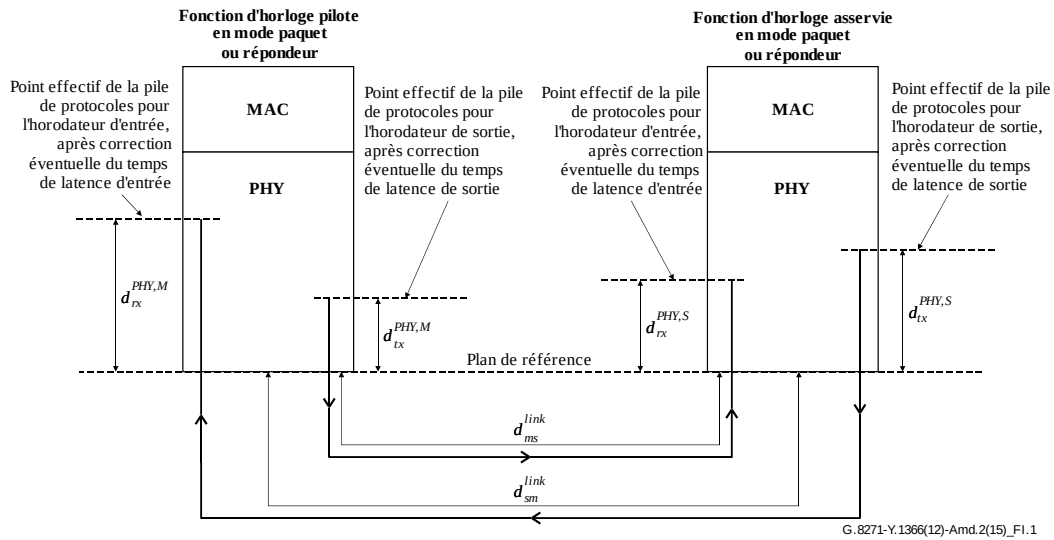


Figure I.1 – Illustration des retards entre une fonction d'horloge asservie en mode paquet, ou demandeur, et une fonction d'horloge pilote en mode paquet, ou répondeur

Le retard total entre l'horloge pilote et l'horloge asservie, t_{ms} , est la somme des retards dans ce sens:

$$t_{ms} = d_{tx}^{PHY,M} + d_{ms}^{link} + d_{rx}^{PHY,S} \quad (I-1)$$

De même, le retard total entre l'horloge asservie et l'horloge pilote, t_{sm} , est la somme des retards dans ce sens:

$$t_{sm} = d_{tx}^{PHY,S} + d_{sm}^{link} + d_{rx}^{PHY,M} \quad (I-2)$$

En ce qui concerne la convention de signes pour l'asymétrie des retards, on adopte la même convention que celle indiquée au § 7.4.2 de la norme [IEEE 1588] Supposons que D_{mean} soit le retard moyen sur le trajet mesuré (c'est-à-dire le résultat mesuré de l'échange de messages Delay_Req et Delay_Resp ou de messages Peer Delay), et que D_{asym} soit l'asymétrie totale des retards, D_{asym} est alors défini comme positif lorsque le retard entre l'horloge pilote et l'horloge asservie est plus grand que le retard entre l'horloge asservie et l'horloge pilote. De même, D_{asym} est défini comme négatif lorsque le retard entre l'horloge pilote et l'horloge asservie est plus petit que le retard entre l'horloge asservie et l'horloge pilote. En conséquence:

$$\begin{aligned} t_{ms} &= D_{mean} + D_{asym} \\ t_{sm} &= D_{mean} - D_{asym} \end{aligned} \quad (I-3)$$

Les formules (I-3) signifient que:

$$D_{mean} = \frac{t_{ms} + t_{sm}}{2} \quad (I-4)$$

Le cas échéant. Si l'on remplace les formules (I-1) et (I-2) par la formule (I-4), on obtient:

$$D_{mean} = \frac{(d_{tx}^{PHY,M} + d_{ms}^{link} + d_{rx}^{PHY,S}) + (d_{tx}^{PHY,S} + d_{sm}^{link} + d_{rx}^{PHY,M})}{2} \quad (I-5)$$

On peut utiliser l'une ou l'autre des deux formules (I-3) avec la formule (I-4) pour obtenir l'asymétrie des retards en ce qui concerne les retards des composantes. Si l'on utilise la première des formules (I-3), on obtient:

$$\begin{aligned}
 D_{asym} &= t_{ms} - D_{mean} \\
 &= (d_{tx}^{PHY,M} + d_{ms}^{link} + d_{rx}^{PHY,S}) - \frac{(d_{tx}^{PHY,M} + d_{ms}^{link} + d_{rx}^{PHY,S}) + (d_{tx}^{PHY,S} + d_{sm}^{link} + d_{rx}^{PHY,M})}{2} \\
 &= \frac{d_{tx}^{PHY,M} - d_{rx}^{PHY,M}}{2} + \frac{d_{ms}^{link} - d_{sm}^{link}}{2} + \frac{d_{rx}^{PHY,S} - d_{tx}^{PHY,S}}{2} \\
 &= e_{phy}^M + e_{link-asym} - e_{phy}^S
 \end{aligned} \tag{I-6}$$

Où:

$$e_{phy}^M = \frac{d_{tx}^{PHY,M} - d_{rx}^{PHY,M}}{2} \tag{I-7}$$

$$e_{link-asym} = \frac{d_{ms}^{link} - d_{sm}^{link}}{2} \tag{I-8}$$

$$e_{phy}^S = \frac{d_{tx}^{PHY,S} - d_{rx}^{PHY,S}}{2} \tag{I-9}$$

Les formules (I-7) et (I-9) sont les erreurs dues à l'asymétrie des temps de latence PHY au niveau respectivement de l'horloge pilote et de l'horloge asservie. La formule (I-8) est l'erreur due à l'asymétrie des liaisons. La formule (I-6) indique que, lors du calcul de l'asymétrie totale, les erreurs dues au temps de latence PHY au niveau de l'horloge pilote et dues à la liaison sont ajoutées, tandis que l'erreur due au temps de latence PHY au niveau de l'horloge asservie est soustraite.

I.7 Caractéristiques des sources de bruit

Chacune des sources de bruit identifiées dans les paragraphes précédents présente des caractéristiques différentes sur le plan de la modélisation et de l'accumulation. À titre d'exemple, le bruit dû à une horloge T-BC en cascade pourrait être analysé selon l'approche traditionnelle suivie par l'UIT-T pour une chaîne d'horloges.

On trouvera dans les paragraphes qui suivent une analyse des sources de bruit énumérées dans le tableau ci-dessus.

I.7.1 Erreur du temps de référence

La fonction d'horloge pilote en mode paquet de l'horloge T-GM reçoit un temps de référence à distribuer. L'erreur peut être attribuée:

A une erreur de temps du GNSS. Il se peut que les systèmes de diffusion qui utilisent différents systèmes GNSS (par exemple le système GPS et le futur système Galileo) présentent une erreur temporelle intrinsèque due à la différence entre les ensembles d'horloges atomiques qui pilotent les systèmes.

Aux limites inhérentes à la mise en oeuvre du système GNSS. Il se peut qu'un récepteur GNSS produise un signal temporel qui est décalé par rapport à un autre récepteur GNSS utilisant le même système à satellites.

Cette source de bruit est applicable uniquement aux horloges PRTC.

La façon de modéliser la source de bruit, e_{ref} , appelle un complément d'étude.

I.7.2 Variations et asymétrie du temps de latence PHY

Cette source de bruit est liée à la fonction d'horodatage matériel, c'est-à-dire à la différence entre le point de mesure de l'horodatage et l'interface avec le support (par exemple la norme 802.3bf définit les valeurs d'émission et de réception minimales et maximales qui sont possibles pour chaque couche PHY prenant en charge la norme 802.3bf). Pour permettre une mise en oeuvre satisfaisante, cette valeur sera généralement de l'ordre de quelques nanosecondes. L'asymétrie du temps de latence PHY est défini par $(d_{tx}-d_{rx})/2$, où d_{tx} est le retard sur le trajet de transmission et d_{rx} le retard sur le trajet de réception, comme indiqué au § I.6 et sur la Figure I.1.

Cette source de bruit est applicable à la fonction d'horloge pilote en mode paquet (dans une horloge T-GM ou T-BC) et à la fonction d'horloge asservie en mode paquet (dans une horloge T-BC ou T-TSC).

La façon dont la source de bruit, e_{phy} , est modélisée appelle un complément d'étude.

I.7.3 Granularité de l'horodatage

La granularité de l'horodatage dépend du rythme de l'horloge d'horodatage. La portée de l'erreur de granularité de l'horodatage est limitée par $T_{ts,rx}$, l'incrément du compteur d'horodatage au niveau du récepteur:

$$0 \leq e_{ts} < T_{ts,rx} \quad (\text{I-10})$$

Si le rythme de l'horloge d'horodatage au niveau du récepteur est un multiple/sous multiple entier du rythme au niveau de l'émetteur, l'effet de battement peut alors être observé et l'erreur e_{ts} est pratiquement statique et ne peut être réduite par le filtrage passage-bas inhérent aux boucles à verrouillage de phase. Si les rythmes sont premiers entre eux, alors l'erreur e_{ts} est rendue aléatoire et est modélisée correctement comme du bruit blanc (spectre uniforme).

Cette source de bruit est applicable aux mesures de l'instant d'arrivée au niveau de l'horloge pilote et de l'horloge asservie en mode paquet. Le même modèle peut s'appliquer pour les mesures de l'instant de départ.

I.7.4 Bruit de phase de l'oscillateur local

La fonction d'horloge asservie en mode paquet utilise les données temporelles de l'horloge pilote pour filtrer son bruit de phase de référence local, de façon à produire une erreur temporelle aussi petite que possible. Plus l'oscillateur local fonctionne de manière satisfaisante, moins de bruit il produit. Il n'est pas possible de filtrer tout le bruit de phase.

Cette source de bruit est applicable à la fonction d'horloge asservie en mode paquet (dans une horloge T-BC ou T-TSC) lorsque la fréquence est récupérée à partir des messages PTP (c'est-à-dire qu'il n'y a pas de prise en charge de la synchronisation de fréquence dans la couche physique).

La façon dont la source de bruit, e_{ϕ} , est modélisée appelle un complément d'étude.

I.7.5 Erreur de phase de la référence de fréquence

La fonction d'horloge asservie en mode paquet (dans une horloge T-BC ou T-TSC) peut utiliser une référence de fréquence externe au lieu de son oscillateur local, pour faciliter la récupération du temps. La référence de fréquence présentera des caractéristiques de rythme nettement meilleures que l'oscillateur local, mais ne sera pas parfaite.

Cette source de bruit est applicable à l'horloge asservie en mode paquet.

Cette source de bruit, e_{syncE} , est définie par les limites du réseau indiquées au § 9.2 de [UIT-T G.8261]. La façon dont cette source de bruit est modélisée appelle un complément d'étude.

I.7.6 transitoires de temps

Les commutateurs de référence ou les interruptions brèves peuvent donner lieu à des transitoires de temps. Une défaillance au niveau du grand maître ou d'une liaison peut entraîner un réaménagement du réseau. Pendant cette période, les erreurs temporelles peuvent s'accumuler en raison d'un certain type de fonction de maintien.

Cette source de bruit est applicable à l'horloge asservie en mode paquet.

La façon dont la source de bruit, $e_{transient}$, est modélisée appelle un complément d'étude.

I.7.7 asymétrie des liaisons

Les protocoles de synchronisation en mode paquet (tels que le protocole de temps réseau et le protocole de précision temporelle (PTP)) mesurent le temps de transfert aller-retour dans un réseau, c'est-à-dire le temps de transfert aller-retour entre un serveur et un client (ou inversement). On estime ensuite le temps de transfert unidirectionnel en partant de l'hypothèse que le temps de transfert dans le sens aller dans un réseau est le même que le temps de transfert en sens inverse. Une différence entre le temps de transfert dans le sens aller et le temps de transfert en sens inverse (appelée asymétrie des temps de transfert) crée une erreur dans l'estimation du décalage entre les horloges du client par rapport au serveur.

L'utilisation de la prise en charge complète du rythme (par exemple l'horloge T-BC ou T-TC dans chaque nœud) permet de supprimer l'asymétrie des temps de transfert due à la variation du temps de transfert des paquets (PDV) ainsi qu'aux différentes charges de trafic dans les deux sens de trafic, et l'asymétrie engendrée par les paquets empruntant différents trajets dans chaque sens (en pareil cas, une horloge transparente de bout en bout ne permettrait cependant pas de résoudre le problème). Cependant, l'utilisation de cette fonction ne permet pas de corriger l'asymétrie des temps de transfert sur les liaisons point à point entre des éléments du réseau. Cette asymétrie est due au fait que pour les trajets aller et retour, différentes fibres optiques ou paires métalliques passent par le même câble. Ces fibres optiques ou paires métalliques peuvent avoir des longueurs différentes et des caractéristiques électriques ou optiques différentes, ce qui suffit à créer des différences de temps de transfert.

L'asymétrie des temps de transfert engendrée par les liaisons à fibres optiques peut représenter plusieurs nanosecondes par mètre de différence dans chaque sens. En cas d'utilisation sur plusieurs liaisons à fibres optiques, la valeur de cette erreur peut devenir importante par rapport aux tolérances très strictes exigées par certaines des applications envisagées.

L'asymétrie des liaisons est définie par la formule $(d_{ms} - d_{sm})/2$, où d_{ms} est le temps de transfert sur le trajet entre l'horloge pilote ou le répondeur et l'horloge asservie où le demandeur, et où d_{sm} est le temps de transfert sur le trajet entre l'horloge asservie ou le demandeur et l'horloge pilote ou le répondeur, comme indiqué au § I.6 et sur la Figure I.1.

Cette source de bruit est applicable aux liaisons.

La façon dont la source de bruit est modélisée appelle un complément d'étude.

I.7.8 Erreur dans la distribution du temps à l'intérieur d'un nœud

Cette erreur est due à divers retards internes lors de la distribution d'une référence de temps entre un emplacement centralisé dans un nœud (par exemple une carte d'un système) ou d'autres emplacements dans un nœud (par exemple une carte de ligne). Cette erreur pourrait par exemple être attribuée à la longueur des traces de plans arrière, aux connecteurs et à diverses fonctions logiques.

NOTE – Ces retards pourraient être non négligeables, d'où la nécessité d'une conception ainsi que d'une compensation appropriées.

Cette source de bruit est définie par la formule $e_{intranoeud}$, et doit faire l'objet d'un complément d'étude. Elle est applicable aux horloges T-GM, T-BC et T-TSC.

I.8 Accumulation d'erreurs de temps dans une chaîne d'horloges

L'erreur de temps totale peut être considérée comme la somme d'une composante d'erreur de temps constante et d'une composante d'erreur de temps dynamique.

NOTE – On admet que les composantes du décalage et de la dérive de fréquence ne sont pas présentes; en conséquence, seules les composantes aléatoires sont prises en compte dans l'erreur de temps dynamique.

Ces deux composantes présentent des caractéristiques différentes en termes de modélisation et d'accumulation. Voir l'Appendice IV de [b-UIT-T G.8271.1] pour plus de précisions.

Appendice II

Prescriptions relatives à la synchronisation de temps et de phase de l'application finale

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

On trouvera dans le tableau ci-dessous un résumé des principales exigences applicables à la sortie de l'application (par exemple à l'interface radioélectrique dans le cas d'une application hertzienne).

**Tableau II.1 – Prescriptions relatives à la synchronisation de temps
et de phase de l'application finale**

Application/ Technologie	Précision	Spécification
CDMA2000	$\pm 3 \mu\text{s}$ par rapport à l'échelle de temps des systèmes CDMA, qui utilise l'échelle de temps du système GPS, (celle-ci étant calée sur le temps UTC et synchrone avec celui-ci, sauf pour les corrections appliquées pour tenir compte des secondes intercalaires) $\pm 10 \mu\text{s}$ par rapport à l'échelle de temps des systèmes CDMA, pour une période d'au moins 8 heures (lorsque la source externe de l'échelle de temps du système CDMA est déconnectée)	[b-3GPP2 C.S0002] paragraphe 1.3 [b-3GPP2 C.S0010] paragraphe 4.2.1.1
TD-SCDMA (Noeud B, mode DRT)	Ecart maximal de $3 \mu\text{s}$ des temps de début de trame entre une paire de cellules sur la même fréquence ayant des zones de couverture qui se chevauchent	[b-3GPP TS 25.123] paragraphe 7.2
WCDMA-DRT (Noeud B, mode DRT)	En mode DRT, pour prendre en charge la synchronisation et le transfert entre cellules, une référence de temps commune entre le noeud B est nécessaire et la différence de phase relative des signaux de synchronisation au niveau du port d'entrée d'un noeud B dans la zone synchronisée ne doit pas dépasser $2,5 \mu\text{s}$	[b-3GPP TS 25.402] paragraphe 6.1.2 et 6.1.2.1
W-CDMA MBSFN	$12,8 \mu\text{s}$ pour le service MBMS sur un réseau monofréquence dans lequel la transmission du noeud B est étroitement synchronisée dans le temps avec un temps de référence commun	[b-3GPP TS 25.346] paragraphe 7.1A et 7.1B.2.1
LTE MBSFN	Des valeurs $< \pm 1 \mu\text{s}$ par rapport à une référence de temps commune (échelle de temps continue) ont été mentionnées	A l'étude
W-CDMA (Noeud B de rattachement, mode DRT)	Précision de l'ordre de la microseconde (aucune exigence rigoureuse n'est indiquée)	[b-3GPP TR 25.866] paragraphe 8
WiMAX	1) Les trames en liaison descendante transmises par la station de base qui fait office de serveur et la station de base voisine doivent être synchronisées à un niveau d'au moins 1/8 de la durée du préfixe cyclique (<i>qui est égale à $1,428 \mu\text{s}$</i>)	[b-IEEE 802.16] Tableau 6-160, paragraphe 8.4.13.4 [b-WMF T23-001] paragraphe 4.2.2

**Tableau II.1 – Prescriptions relatives à la synchronisation de temps
et de phase de l'application finale**

Application/ Technologie	Précision	Spécification
	Au niveau de la station de base, la trame radioélectrique transmise doit être alignée temporellement sur l'impulsion de rythme à 1PPS 2) Le rythme de référence d'émission de la station de base doit être aligné temporellement sur l'impulsion à 1PPS avec une précision de $\pm 1 \mu s$	
LTE-DRT (stations de base desservant une zone étendue)	3 μs pour les petites cellules (rayon < 3 km) 10 μs pour les grandes cellules (rayon > 3 km) Ecart absolu maximal de la synchronisation de début de trame entre une paire de cellules sur la même fréquence pour lesquelles les zones de couverture se chevauchent	[b-3GPP TS 36.133] paragraphe 7.4.2
LTE-DRT (station de base domestique)	1) 3 μs pour les petites cellules (rayon < 500m). Pour les grandes cellules (rayon > 500 m), $1,33 + T_{propagation}$ μs, soit la différence de temps entre les stations de base, ou $T_{propagation}$ est le retard de propagation entre la station de base de rattachement et la cellule choisie en tant que source de synchronisation d'écoute du réseau. En ce qui concerne le choix de la source de synchronisation d'écoute du réseau, il convient de sélectionner la source de synchronisation la plus précise par rapport au système GNSS. Si la station de base de rattachement obtient la synchronisation sans utiliser l'écoute du réseau la prescription relative aux petites cellules s'applique. 2) La valeur requise est de 3,475 μs, mais dans de nombreux scénarios, on peut adopter une valeur de synchronisation de 3 μs.	[b-3GPP TS 36.133] paragraphe 7.4.2 [b-3GPP TR 36.922] paragraphe 6.4.1.2
Transferts LTE-DRT vers CDMA 1xRTT et HRPD	Le noeud B évolué doit être synchronisé avec le temps GPS. La source extérieure de l'échelle de temps du système CDMA étant déconnectée, le noeud B évolué doit maintenir la précision de rythme dans les limites de $\pm 10 \mu s$ par rapport à l'échelle de temps du système CDMA pendant une période d'au moins 8 heures.	[b-TS 3GPP TS 36.133] paragraphe 7.5.2.1
LTE-A	Les prescriptions de phase/temps pour les applications énumérées ci-dessous sont actuellement à l'étude: • Regroupement de porteuses • Transmission multipoint coordonnée (également appelée technique MIMO en réseau) • Fonction de relais	[b-TR 3GPP TS 36.814]
Contrôle du temps de propagation des réseaux IP	Cette prescription dépend du niveau de qualité qui doit être contrôlé. A titre d'exemple, une valeur de $\pm 100 \mu s$ par rapport à une référence de temps commune (par exemple le temps UTC) peut-être nécessaire. Une valeur de $\pm 1 ms$ a également été mentionnée.	NOTE – il n'existe pas encore de prescription type les prescriptions dépendent de l'opérateur (elles sont fonction de l'application)

Tableau II.1 – Prescriptions relatives à la synchronisation de temps et de phase de l'application finale

Application/ Technologie	Précision	Spécification
Facturation et alarmes	±100 ms par rapport à une référence de temps commune (par exemple le temps UTC)	
NOTE 1 – Dans le cas des applications mobiles, les prescriptions sont généralement exprimées en termes d'erreur de phase entre les stations de base. Dans le cas d'une horloge pilote centralisée, la prescription pourrait être exprimée sous la forme de $\pm$ la moitié de la précision requise applicable à la technologie considérée. NOTE 2 – Les prescriptions sont généralement valables dans des conditions normales. Les conditions applicables en cas de défaillance appellent un complément d'étude.		

Tableau II.2 – Autres prescriptions de temps et de phase

Applications types (pour information)	Prescriptions en matière d'erreur de temps (Note 1)	Spécification
Regroupement de porteuses non contiguës intrabande avec ou sans technique MIMO ou diversité d'émission, et regroupement de porteuses entre bandes avec ou sans technique MIMO ou diversité d'émission	260 ns	[b-3GPP TS 36.104] paragraphe 6.5.3.1
Regroupement de porteuses contiguës intrabande avec ou sans technique MIMO ou diversité d'émission	130 ns	[b-3GPP TS 36.104] paragraphe 6.5.3.1
Services géolocalisés utilisant la différence observée entre les instants d'arrivée (OTDOA) (Note 3)	100 ns	
Transmissions utilisant la technique MIMO ou la diversité d'émission au niveau de chaque fréquence porteuse	65 ns	[b-3GPP TS 36.104] paragraphe 6.5.3.1
Nouvelles fonctionnalités LTE-A émergentes nécessitant la coopération d'antennes multiples à l'intérieur d'un groupe	x ns (Note 2)	
NOTE 1 – La prescription est exprimée sous la forme de l'erreur relative par rapport à une autre station de base, toutes deux ayant la même référence. NOTE 2 – Les caractéristiques de qualité de fonctionnement des fonctionnalités LTE-A sont à l'étude. La valeur de x doit faire l'objet d'un complément d'étude. NOTE 3 – Une valeur de 100 ns permet une précision de la localisation de l'ordre de 30 à 40 m lorsque la différence OTDOA est utilisée avec au moins trois stations de base. NOTE 4 – Les prescriptions sont exprimées en termes d'erreur relative entre antennes (c'est-à-dire les secteurs de la station de base), toutes deux ayant la même référence de rythme. Bien que les prescriptions en matière de précision de phase/temps pour CA et CoMP soient génériques et ne soient pas définies pour une topologie de réseau donnée, ce niveau de bilan d'erreur de phase suppose que les antennes pour lesquelles les prescriptions s'appliquent doivent en général être situées au même endroit ou connectées à la même unité BBU via des liaisons directes.		

Parmi les autres catégories d'applications nécessitant une synchronisation de temps et de phase précise figurent les communications de machine à machine (M2M) et l'Internet industriel (véhicules de transport et véhicules connectés, réseaux électriques intelligents, opérations financières, systèmes médicaux et de soins de santé à distance, surveillance améliorée de la sûreté de la sécurité, etc., par exemple). Les prescriptions proprement dites en matière de synchronisation dépendent de l'application considérée et appellent un complément d'étude.

Appendice III

Compensation de l'asymétrie en cas d'utilisation de différentes longueurs d'onde

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

On obtient la compensation de l'asymétrie due à l'utilisation de différentes longueurs d'onde en calculant le temps de propagation de groupe applicable aux longueurs d'onde utilisées dans le sens aller et retour.

L'asymétrie étant désignée par A , la formule suivante s'applique:

$$A = d_f - d_r = L * (n_r - n_f)/c$$

Où L est la distance, c la vitesse de la lumière, d_f et d_r le temps de transmission dans le sens aller et retour, et n_r et n_f les indices de réfraction de groupes applicables à la longueur d'onde utilisée dans le sens aller et dans le sens retour, respectivement.

L'évaluation des indices de réfraction peut être effectuée soit en utilisant les données connues relatives à la dispersion chromatique (par exemple à partir des fiches techniques de fibre optique) soit, dans le cas où la dispersion n'est pas connue, en effectuant une mesure directe du temps de transfert au niveau de trois longueurs d'onde différentes (l'indice de réfraction pour une longueur d'onde arbitraire peut alors être obtenu par interpolation quadratique).

Ces données peuvent ensuite être utilisées pour calculer le temps de propagation de groupe d'une longueur d'onde générique. En particulier, dans le cas d'une fibre optique conforme à la Recommandation UIT-T G.652, on peut calculer le temps de propagation de groupe au niveau des longueurs d'ondes applicables en utilisant les équations Sellmeier telles qu'elles sont décrites dans [b-UIT-T G.652].

Appendice IV

Compensation de l'asymétrie de la liaison et du réseau

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

Afin de compenser l'asymétrie des temps de transmission sur la liaison, il pourrait être souhaitable de mettre en place une procédure automatique d'étalonnage de l'asymétrie sur la liaison. Pour ce faire, on pourrait s'appuyer sur le calcul des temps de propagation au moyen de mesures bidirectionnelles effectuées sur les fibres utilisées par le trafic.

La procédure peut être effectuée séparément sur les deux fibres (sur la fibre utilisée dans le sens aller et sur la fibre utilisée dans le sens retour) en fournissant le temps de propagation dans le sens aller d_f et le temps de propagation dans le sens retour d_r . cette procédure est écrite sur la Figure IV.1.

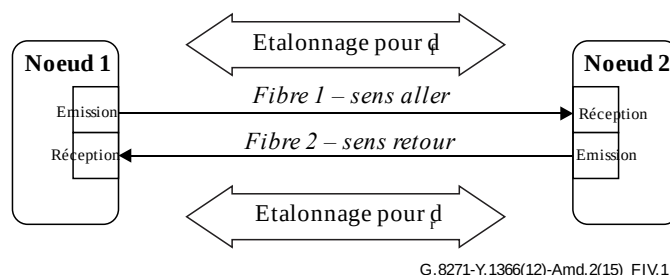


Figure IV.1 – Procédure d'étalonnage de l'asymétrie des liaisons (effectuée séparément sur les deux fibres)

A titre de variante, la mesure du temps de propagation aller et retour pourrait être effectuée en deux temps sur les deux fibres, en inversant le sens de transmission. Cette opération est décrite sur la Figure IV.2.

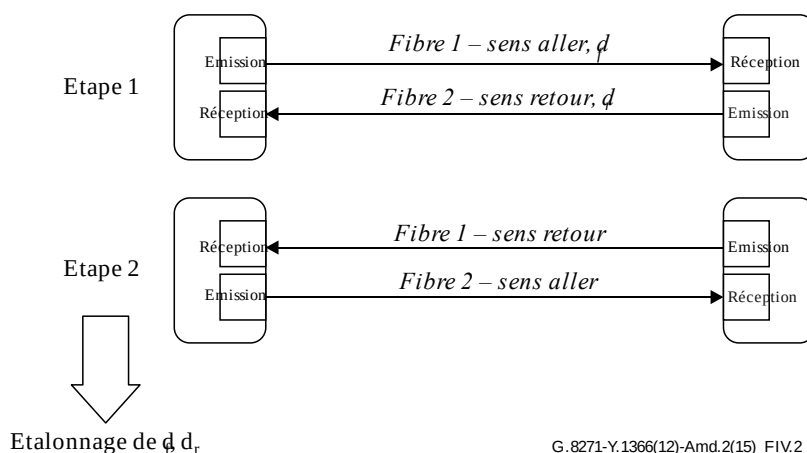


Figure IV.2 – Procédure d'étalonnage de l'asymétrie des liaisons (effectuée sur les deux fibres en même temps)

NOTE 1 – dans le cas de la connexion entre l'horloge pilote et l'horloge asservie, comme indiqué sur la Figure I.1, les formules suivantes s'appliqueraient:

$$d_f = d_{ms}$$

$$d_r = d_{sm}$$

Le mécanisme d'étalonnage de l'asymétrie des liaisons doit satisfaire à un objectif de précision pour les estimations de d_f et d_r . Cette limite appelle un complément d'étude.

NOTE 2 – dans le cas où un noeud, pendant la procédure de calcul de l'asymétrie, passe en mode maintien (par exemple à cause de la permutation des fibres, si elle est exigée par la procédure), il faut tenir compte des incidences du mode maintien des fréquences, qui risquent d'influer sur la précision des mesures.

Plusieurs mises en oeuvre sont possibles, par exemple celles qui sont fondées sur des commutateurs optiques ou des filtres d'insertion-extraction fixes ou réglables. Selon la mise en oeuvre, il ne sera pas forcément nécessaire d'interrompre le trafic pendant la procédure d'étalonnage, de sorte que le fonctionnement en service pourra être possible. Cependant, la compensation de l'asymétrie est un processus qui n'est nécessaire qu'au moment du démarrage ou pendant le réaménagement du réseau.

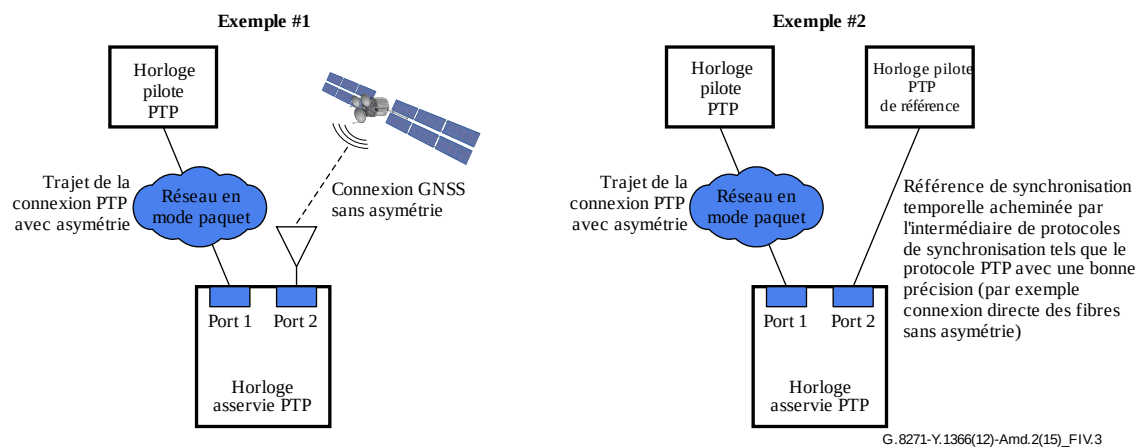
Cette mesure est applicable aux systèmes de multiplexage par répartition en longueurs d'ondes (WDM) (notamment le réseau de transport optique (OTN)) et les systèmes autres que WDM. Dans le cas de systèmes de multiplexage par répartition en longueurs d'ondes, cette mesure devrait également tenir compte du risque de retard dû à la fibre optique à compensation de dispersion (DCF).

NOTE 3 – Dans le cas de systèmes WDM, l'asymétrie due à l'utilisation de longueurs d'ondes différentes dans les deux sens devrait également être prise en considération. En effet, l'utilisation de différentes longueurs d'ondes sur les deux fibres (ou sur une seule fibre dans le cas d'un système de transmission utilisant une fibre unique), aurait pour conséquence des temps de transmission différents, même si les fibres ont la même longueur. Il convient également de noter qu'une compensation relative au même aspect serait nécessaire si la longueur d'onde utilisée pendant la procédure d'étalonnage de l'asymétrie des liaisons était différente de la longueur d'onde utilisée par le trafic. On trouvera dans l'Appendice III des méthodes adaptées pour tenir compte de ce point.

La différence ($d_f - d_r$) peut servir à évaluer l'asymétrie des temps de transmission à utiliser pendant le processus de récupération du temps. En particulier, le paramètre *delayAsymmetry* défini au paragraphe 7.4 de la norme [IEEE 1588] correspondrait à la moitié de cette différence.

NOTE 4 – Si une horloge T-BC est mise en oeuvre dans chaque noeud, la compensation peut être déclenchée directement par l'horloge T-BC, qui connaîtrait la différence ($d_f - d_r$). Si tel n'est pas le cas, il faut prévoir certains moyens permettant de fournir la différence ($d_f - d_r$) aux points du réseau ou les messages du protocole de précision temporelle (PTP) sont traités. Cette question appelle un complément d'étude.

NOTE 5 – Dans le cas d'une synchronisation temporelle effectuée par le protocole PTP, la connexion PTP peut être asymétrique pour diverses raisons, notamment les trajets du réseau, les niveaux de charge ou les longueurs des câbles. On peut évaluer l'asymétrie d'une connexion PTP au niveau d'un élément de réseau PTP, si l'élément de réseau a accès à une seconde source de synchronisation temporelle qui n'est pas sensiblement influencée par l'asymétrie (par exemple un récepteur GNSS, ou une référence de synchronisation temporelle acheminée par l'intermédiaire de protocoles de synchronisation tels que le protocole PTP, avec une bonne précision), comme indiqué sur la Figure IV.3. Si l'on évalue l'asymétrie de la connexion PTP au moyen d'une seconde source de synchronisation temporelle, le décalage causé par l'asymétrie peut alors être compensé par l'élément de réseau. On pourrait appliquer le même principe entre éléments de réseaux d'une chaîne.



G.8271-Y.1366(12)-Amd.2(15)_FIV.3

Figure IV.3 – Evaluation par l'horloge asservie PTP de l'asymétrie de connexion PTP

Appendice V

Asymétrie des temps de transmission résultant des modifications de débits de l'interface dans les éléments de réseau non compatibles PTP

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

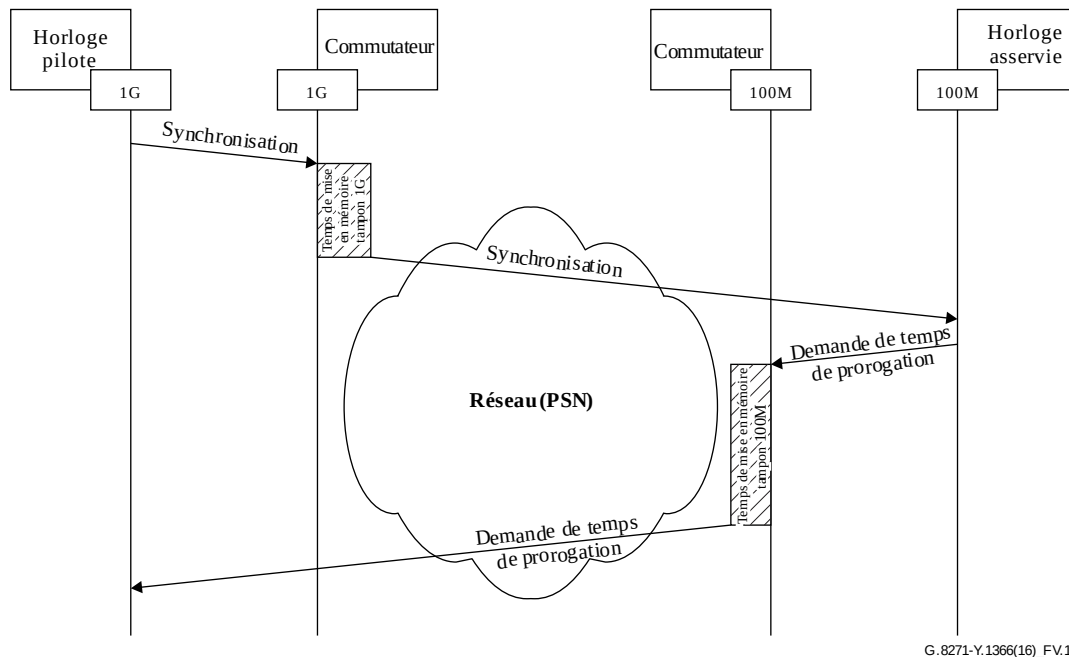
Dans le cas où l'horloge pilote et l'horloge asservie ne sont pas connectées à un élément de réseau compatible PTP (par exemple une horloge BC ou TC) et n'utilisent pas le même débit de ligne Ethernet, une asymétrie des temps de transmission peut être générée en raison des fonctionnalités "d'enregistrement et de retransmission" propres aux commutateurs Ethernet, ce qui signifie que le commutateur doit recevoir la totalité de la trame avant de commencer la transmission sur le port ayant le débit de ligne le plus rapide, pour veiller à ce que les données par paquets soient disponibles aux fins de la transmission. Le temps minimal nécessaire au transfert des paquets dans le commutateur dépend de la longueur du paquet et du débit de ligne à l'entrée. Les paquets PTP de demande de synchronisation et de retard ont été définis de façon à avoir la même longueur, afin de réduire l'asymétrie des temps de transmission causée par différents retards de transition, mais l'absence de correspondance des débits Ethernet créera une asymétrie.

On peut estimer l'asymétrie attendue sur la base de la taille des paquets de messages d'événement PTP et du débit des interfaces.

Dans le cas où l'asymétrie statique causée par l'absence de correspondance des débits est connue, elle peut être compensée par l'horloge asservie au moyen du mécanisme de compensation des retards asymétriques défini dans la publication [IEEE 1588], § 11.6.

L'exemple ci-après vise à illustrer l'asymétrie générée par un défaut de correspondance des débits:

- Le format des paquets utilise l'en-tête UDP/IPv4/Ethernet, et donne une taille totale des paquets de 86 octets (à l'exclusion du préambule et de la séquence FCS).
- Préambule: 8 octets.
- Séquence FCS: 4 octets.
- L'interface d'horodateur d'événements grand maître PTP est GE (1000 Mbit/s).
- L'interface d'horodateur d'événements asservi PTP est FE (100 Mbit/s).
- On suppose que le temps de transmission du réseau à commutation par paquets (PSN) est symétrique.



G.8271-Y.1366(16) FV.1

Figure V.1 – Exemple de défaut de concordance des débits

On obtient la formule ci-après en ce qui concerne le temps de transmission entre les points d'horodateur d'événements.

Dans le sens aller entre l'horloge pilote et l'horloge asservie, le temps de transmission entre les points d'horodateur d'événements est le suivant:

$$t2 = (L_{PKT} + L_{FCS})_{bytes} \times 8_{bits/byte} \times GE_{ns/bit} + D_{PSN} + (L_{Pre-amble})_{bytes} \times 8_{bits/byte} \times FE_{ns/bit} + t1 \quad (V-1)$$

Dans le sens retour entre l'horloge asservie et l'horloge pilote, le temps de transmission entre les points d'horodateur d'événements est le suivant:

$$t4 = (L_{PKT} + L_{FCS})_{bytes} \times 8_{bits/byte} \times FE_{ns/bit} + D_{PSN} + (L_{Pre-amble})_{bytes} \times 8_{bits/byte} \times GE_{ns/bit} + t3 \quad (V-2)$$

La formule $\langle meanPathDelay \rangle$ tirée de l'équation (V-2) est la suivante:

$$\langle meanPathDelay \rangle = \frac{[(t2 - t1) + (t4 - t3)]}{2} \quad (V-3)$$

Si l'on remplace $(t2 - t1)$ par l'équation (V-1) et $(t4 - t3)$ par l'équation (V-2), alors:

$$\langle meanPathDelay \rangle = \frac{(L_{PKT} + L_{FCS} + L_{Pre-amble}) \times 8 \times (GE + FE)_{ns} + 2 \times D_{PSN}}{2} \quad (V-4)$$

$$\langle meanPathDelay \rangle = (L_{PKT} + L_{FCS} + L_{Pre-amble}) \times 8 \times \frac{GE + FE}{2}_{ns} + D_{PSN} \quad (V-5)$$

Par convention, la valeur de $\langle delayPathAsymmetry \rangle$ est positive lorsque le trajet aller est plus long que le trajet retour.

L'asymétrie des trajets des temps de transmission est alors la différence entre les équations (V-1) et (V-5).

$$\langle delayPathAsymmetry \rangle = (L_{PKT} + L_{FCS}) \times 8 \times \left(\frac{GE - FE}{2} \right)_{ns} + (L_{Pre-amble}) \times 8 \times \left(\frac{FE - GE}{2} \right)_{ns} \quad (V-6)$$

Ou la différence entre les équations (V-5) et (V-2)

$$< delayPathAsymmetry > = (L_{PKT} + L_{FCS}) \times 8 \times \left(\frac{GE - FE}{2} \right)_{ns} + (L_{Pre-amble}) \times 8 \times \left(\frac{FE - GE}{2} \right)_{ns} \quad (V-7)$$

Si l'on remplace les valeurs de l'équation (V-6) par des valeurs réelles, on obtient:

$$< delayPathAsymmetry > = (86 + 4) \times 8 \times \left(\frac{1-10}{2} \right)_{ns} + (8) \times 8 \times \left(\frac{10-1}{2} \right)_{ns}$$

$$< delayPathAsymmetry > = -2952_{ns}$$

Le terme général de l'asymétrie des temps de transmission du au défaut de concordance des débits est:

$$< delayPathAsymmetry > = (L_{PKT} + L_{FCS}) \times 8 \times \left(\frac{V_{PEC-M} - V_{PEC-S}}{2} \right) + (L_{Pre-amble}) \times 8 \times \left(\frac{V_{PEC-S} - V_{PEC-M}}{2} \right)$$

Où:

L_{PKT}	longueur du paquet (à l'exclusion du préambule et de la séquence FCS) en octets
L_{FCS}	longueur de la séquence FCS de paquets en octets
$L_{Pre-amble}$	longueur du préambule de paquets en octets
V_{Master}	débit de l'interface des horodateurs sur l'horloge pilote PTP en bits/seconde
V_{Slave}	débit de l'interface des horodateurs sur l'horloge asservie PTP en bits/seconde

Bibliographie

- [b-UIT-T G.652] Recommandation UIT-T G.652 (2009), *Caractéristiques des câbles et fibres optiques monomodes*.
- [b-UIT-T G.8271.1] Recommandation UIT-T G.8271.1/Y.1366.1 (2013), *Limites relatives à la synchronisation temporelle dans les réseaux en mode paquet*.
- [b-IEEE 802.16] IEEE 802.16-2012, *Norme IEEE pour les réseaux locaux ou métropolitains – Partie 16 – Interface radioélectrique de systèmes d'accès hertzien large bande*.
<<http://standards.ieee.org/findstds/standard/802.16-2012.html>>
- [b-IEEE 802.3bf] IEEE 802.3-2011, *IEEE Standard for Information technology – Local and metropolitan area networks – Part 3: CSMA/CD Access Method and Physical Layer Specifications Amendment 7: Media Access Control (MAC) Service Interface and Management Parameters to Support Time Synchronization Protocols*.
<<http://www.techstreet.com/ieee/searches/13964866>>
- [b-WMF T23-001] WMF-T23-001-R015v03 (2012), *WiMAX Forum® Air Interface Specifications – Mobile System Profile Specification*.
<http://resources.wimaxforum.org/sites/wimaxforum.org/files/technical_document/2012/04/WMF-T23-001-R015v03_MSP-Common-Part.pdf>
- [b-3GPP TR 25.836] 3GPP TR 25.836 (2001), *Synchronisation du noeud B en mode DRT*.
<<http://www.3gpp.com/ftp/Specs/html-info/25836.htm>>
- [b-3GPP TR 25.866] 3GPP TR 25.866 (2009), *1.28 Mcps TDD Home NodeB (HNB) study item technical report*.
<<http://www.3gpp.com/ftp/Specs/html-info/25866.htm>>
- [b-3GPP TR 36.814] 3GPP TR 36.814 (2010), *Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Further advancements for E-UTRA physical layer aspects*.
<<http://www.3gpp.com/ftp/Specs/html-info/36814.htm>>
- [b-3GPP TR 36.922] 3GPP TR 36.922 (2015), *Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); TDD Home eNode B (HeNB) Radio Frequency (RF) requirements analysis*.
<<http://www.3gpp.com/ftp/Specs/html-info/36922.htm>>
- [b-3GPP TS 25.123] 3GPP TS 25.123 (2015), *Conditions de prise en charge de la gestion des ressources radioélectriques (DRT)*.
<<http://www.3gpp.com/ftp/Specs/html-info/25123.htm>>
- [b-3GPP TS 25.346] 3GPP TS 25.346 (2016), *Mise en oeuvre du service de diffusion /multidiffusion multimédia (MBMS) dans le réseau d'accès radioélectrique; (RAN); Etape 2*
<<http://www.3gpp.com/ftp/Specs/html-info/25346.htm>>
- [b-3GPP TS 25.402] 3GPP TS 25.402 (2016), *Universal Mobile Telecommunications Systems (UMTS); Synchronization in UTRAN Stage 2*.
<<http://www.3gpp.com/ftp/Specs/html-info/25402.htm>>
- [b-3GPP TS 36.104] 3GPP TS 36.104 (2016), *Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception*.
<<http://www.3gpp.com/ftp/Specs/html-info/36104.htm>>
- [b-3GPP TS 36.133] 3GPP TS 36.133 (2016), *Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Requirements for support of radio resource management*.
<<http://www.3gpp.com/ftp/Specs/html-info/36133.htm>>

- [b-3GPP2 C.S0010] 3GPP2 C.S0010-E v2.0 (2014), *Norme de qualité de fonctionnement minimale des stations de base à étalement de spectre amrc2000*.
<http://www.3gpp2.org/Public_html/specs/C.S0010-E_v2.0_20140321.pdf>
- [b-3GPP2 C.S0002] 3GPP2 C.S0002-F v2.0 (2014), *Norme relative à la couche physique pour les systèmes amrc2000 à étalement de spectre*.
<http://www.3gpp2.org/Public_html/specs/C.S0002-F_v2.0_20140519.pdf>

RECOMMANDATIONS UIT-T DE LA SÉRIE Y

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

Généralités	Y.100–Y.199
Services, applications et intergiciels	Y.200–Y.299
Aspects réseau	Y.300–Y.399
Interfaces et protocoles	Y.400–Y.499
Numérotage, adressage et dénomination	Y.500–Y.599
Gestion, exploitation et maintenance	Y.600–Y.699
Sécurité	Y.700–Y.799
Performances	Y.800–Y.899

ASPECTS RELATIFS AU PROTOCOLE INTERNET

Généralités	Y.1000–Y.1099
Services et applications	Y.1100–Y.1199
Architecture, accès, capacités de réseau et gestion des ressources	Y.1200–Y.1299

Transport Y.1300–Y.1399

Interfonctionnement	Y.1400–Y.1499
Qualité de service et performances de réseau	Y.1500–Y.1599
Signalisation	Y.1600–Y.1699
Gestion, exploitation et maintenance	Y.1700–Y.1799
Taxation	Y.1800–Y.1899
Télévision IP sur réseaux de prochaine génération	Y.1900–Y.1999

RÉSEAUX DE PROCHAINE GÉNÉRATION

Cadre général et modèles architecturaux fonctionnels	Y.2000–Y.2099
Qualité de service et performances	Y.2100–Y.2199
Aspects relatifs aux services: capacités et architecture des services	Y.2200–Y.2249
Aspects relatifs aux services: interopérabilité des services et réseaux dans les réseaux de prochaine génération	Y.2250–Y.2299
Améliorations concernant les réseaux de prochaine génération	Y.2300–Y.2399
Gestion de réseau	Y.2400–Y.2499
Architectures et protocoles de commande de réseau	Y.2500–Y.2599
Réseaux de transmission par paquets	Y.2600–Y.2699
Sécurité	Y.2700–Y.2799
Mobilité généralisée	Y.2800–Y.2899
Environnement ouvert de qualité opérateur	Y.2900–Y.2999

RÉSEAUX FUTURS Y.3000–Y.3499
INFORMATIQUE EN NUAGE Y.3500–Y.3999
INTERNET DES OBJETS ET VILLES ET COMMUNAUTÉS INTELLIGENTES

Considérations générales	Y.4000–Y.4049
Termes et définitions	Y.4050–Y.4099
Exigences et cas d'utilisation	Y.4100–Y.4249
Infrastructure, connectivité et réseaux	Y.4250–Y.4399
Cadres, architectures et protocoles	Y.4400–Y.4549
Services, applications, calcul et traitement des données	Y.4550–Y.4699
Gestion, commande et qualité de fonctionnement	Y.4700–Y.4799
Identification et sécurité	Y.4800–Y.4899
Evaluation et analyse	Y.4900–Y.4999

SÉRIES DES RECOMMANDATIONS UIT-T

Série A	Organisation du travail de l'UIT-T
Série D	Principes de tarification et de comptabilité et questions de politique générale et d'économie relatives aux télécommunications internationales/TIC
Série E	Exploitation générale du réseau, service téléphonique, exploitation des services et facteurs humains
Série F	Services de télécommunication non téléphoniques
Série G	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	Qualité de transmission téléphonique, installations téléphoniques et réseaux locaux
Série Q	Commutation et signalisation et mesures et tests associés
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, réseaux de prochaine génération, Internet des objets et villes intelligentes
Série Z	Langages et aspects généraux logiciels des systèmes de télécommunication