

UIT-T

G.8263/Y.1363

SECTEUR DE LA NORMALISATION
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS
DE L'UIT

(02/2012)

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

**Caractéristiques de synchronisation des
horloges d'équipement en mode paquet**

Recommandation UIT-T G.8263/Y.1363

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.8263/Y.1363

Caractéristiques de synchronisation des horloges d'équipement en mode paquet

Résumé

La Recommandation UIT-T G.8263/Y.1363 décrit en grandes lignes les dispositifs de synchronisation, employés dans les équipements des réseaux de synchronisation qui opèrent dans le cadre de la fonction d'interfonctionnement (IWF) et d'autres éléments de réseau définis dans la Recommandation UIT-T G.8261/Y.1361. Cette Recommandation définit les prescriptions applicables aux horloges d'équipement en mode paquet.

Historique

Edition	Recommandation	Approbation	Commission d'études	ID unique*
1.0	ITU-T G.8263/Y.1363	2012-02-13	15	11.1002/1000/11524

Mots clés

Dérapage, gigue, horloge, synchronisation.

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

AVANT-PROPOS

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

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

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

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

NOTE

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

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

DROITS DE PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

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

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

© UIT 2016

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

TABLE DES MATIÈRES

	Page	
1	Domaine d'application	1
2	Références.....	2
3	Définitions	2
4	Abréviations et acronymes	2
5	Précision de la fréquence	4
	5.1 Horloge d'équipement en mode paquet asservie en fréquence.....	4
6	Génération de bruit	4
7	Tolérance du bruit causé par la variation du temps de transmission des paquets.....	6
	7.1 Horloge d'équipement en mode paquet asservie en fréquence.....	6
8	Réponse aux transitoires de phase de longue durée (mode de maintien)	7
	8.1 Horloge d'équipement en mode paquet asservie en fréquence.....	7
9	Réponse en termes de phase aux interruptions de la synchronisation par paquets.....	8
10	Interfaces.....	9
	Annexe A – Modèle fonctionnel d'horloge en mode paquet.....	10
	Appendice I – Tolérance du bruit causé par la variation du temps de transmission des paquets – méthode d'essai.....	11
	Appendice II – Considérations relatives au débit de paquets	12
	Appendice III – Considérations relatives à la constante de temps de l'horloge d'équipement en mode paquet asservie en fréquence	13

Recommandation UIT-T G.8263/Y.1363

Caractéristiques de synchronisation des horloges d'équipement en mode paquet

1 Domaine d'application

La présente Recommandation décrit en grandes lignes les prescriptions minimales qui s'appliquent aux fonctions de synchronisation des horloges asservies en mode paquet, définies dans la référence [UIT-T G.8265]. Elle permet d'assurer la diffusion de la synchronisation en fréquence lorsque des méthodes fondées sur les paquets sont employées.

La présente Recommandation assure une exploitation correcte du réseau lorsqu'une horloge asservie en mode paquet est calée sur une horloge pilote en mode paquet, comme défini dans la référence [UIT-T G.8265].

Elle est axée sur les applications mobiles, et en particulier sur la fourniture de la synchronisation en fréquence aux applications d'extrémité telles que les stations de base mobiles. Elle prend en charge l'architecture définie dans la référence [UIT-T G.8265]. D'autres applications doivent faire l'objet d'un complément d'étude.

La présente Recommandation est centrée sur deux cas d'implantation des horloges asservies en mode paquet:

- L'horloge asservie en mode paquet incorporée dans un dispositif situé au même endroit que l'application d'extrémité, comme indiqué après la connexion C1 dans la Figure 3 de la référence [UIT-T G.8261.1].
- L'horloge asservie en mode paquet incorporée dans l'application d'extrémité, comme indiqué après la connexion C2 dans la Figure 3 de la référence [UIT-T G.8261.1]. Ce deuxième cas doit faire l'objet d'un complément d'étude pour la première version de la présente Recommandation.

D'autres cas d'implantation de l'horloge asservie en mode paquet doivent faire l'objet d'un complément d'étude.

La présente Recommandation concerne en particulier les types de réseaux qui correspondent aux modèles hypothétiques de référence HRM-1 et HRM-2 définis dans la référence [UIT-T G.8261.1].

NOTE – Pour de longues plages d'observation, l'horloge d'équipement en mode paquet asservie en fréquence (PEC-S-F) est censée compenser les effets dus à la variation de température. En raison de cela, la pente du signal sortant de l'horloge PEC-S-F tendra vers une valeur égale à 1 ppb (10^{-9}).

Le type HRM-2 de réseaux doit faire l'objet d'un complément d'étude pour la première version de la présente Recommandation. Les autres types de réseaux sortent du cadre de la présente Recommandation.

La présente Recommandation définit les prescriptions minimales qui s'appliquent aux horloges asservies en mode paquet. Ces prescriptions s'appliquent dans les conditions environnementales normales spécifiées pour l'équipement.

La présente Recommandation concerne la précision de l'horloge, la tolérance du bruit causé par la variation du temps de transmission des paquets (PDV), la qualité du mode de maintien et la génération de bruit. Les conditions de démarrage (par exemple, la largeur variable de la bande de filtrage au démarrage, la période de stabilisation, etc.) doivent faire l'objet d'un complément d'étude.

2 Références

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

- [UIT-T G.810] Recommandation UIT-T G.810 (1996), *Définitions et terminologie des réseaux de synchronisation.*
- [UIT-T G.811] Recommandation UIT-T G.811 (1997), *Caractéristiques de rythme des horloges de référence primaires.*
- [UIT-T G.823] Recommandation UIT-T G.823 (2000), *Régulation de la gigue et du dérapage dans les réseaux numériques basés sur la hiérarchie à 2 048 kbit/s.*
- [UIT-T G.824] Recommandation UIT-T G.824 (2000), *Régulation de la gigue et du dérapage dans les réseaux numériques basés sur la hiérarchie à 1 544 kbit/s.*
- [UIT-T G.8260] Recommandation UIT-T G.8260 (2012), *Termes et définitions relatifs à la synchronisation dans les réseaux en mode paquet.*
- [UIT-T G.8261] Recommandation UIT-T G.8261 (2008), *Eléments de rythme et de synchronisation des réseaux paquets.*
- [UIT-T G.8261.1] Recommandation UIT-T G.8261.1 (2012), *Limites de la variation du temps de transfert des paquets dans le réseau applicables aux méthodes fondées sur les paquets (synchronisation des fréquences).*
- [UIT-T G.8265] Recommandation UIT-T G.8265 (2010), *Architecture et spécifications pour la distribution de fréquence en mode paquet.*
- [UIT-T G.8265.1] Recommandation UIT-T G.8265.1 (2010), *Profil du protocole de précision temporelle pour la synchronisation des fréquences dans les applications de télécommunication.*

3 Définitions

Les définitions associées à la synchronisation sont contenues dans les références [UIT-T G.810] et [UIT-T G.8260].

4 Abréviations et acronymes

Aux fins de la présente Recommandation, les abréviations et les acronymes suivants sont employés:

ATM	mode de transfert asynchrone (<i>asynchronous transfer mode</i>)
BS	station de base (<i>base station</i>)
CBR	débit binaire constant (<i>constant bit rate</i>)
CDMA	accès multiple par répartition en codes (<i>code division multiple access</i>)
CE	équipement d'abonné (<i>customer equipment</i>)
CES	service d'émulation de circuit (<i>circuit emulation service</i>)
DUT	dispositif à l'essai (<i>device under test</i>)
EEC	horloge d'équipement Ethernet synchrone (<i>synchronous Ethernet equipment clock</i>)

ESMC	canal de messagerie de synchronisation Ethernet (<i>Ethernet synchronization messaging channel</i>)
FDD	duplex par répartition en fréquences (<i>frequency division duplex</i>)
FE	Fast Ethernet
GE	Ethernet gigabit (<i>gigabit Ethernet</i>)
GPS	système mondial de localisation (<i>global positioning system</i>)
GSM	système mondial de communications mobiles (<i>global system for mobile communications</i>)
HRM	modèle hypothétique de référence (<i>hypothetical reference model</i>)
IP DSLAM	multiplexeur d'accès aux lignes d'abonné numériques IP (<i>IP digital subscriber line access multiplexer</i>)
IP	protocole Internet (<i>Internet protocol</i>)
IWF	fonction d'interfonctionnement (<i>interworking function</i>)
MAC	commande d'accès au support (<i>medium access control</i>)
M-CMTS	système modulaire de terminaison de câblo-modem (<i>modular cable modem termination system</i>)
METROE	Ethernet METRO (<i>METRO Ethernet</i>)
MPEG	groupe d'experts chargé des images animées (<i>moving picture experts group</i>)
MRTIE	erreur relative maximale sur l'intervalle de temps (<i>maximum relative time interval error</i>)
MSAN	nœud d'accès multiservice (<i>multiservice access node</i>)
MTIE	erreur maximale sur l'intervalle de temps (<i>maximum time interval error</i>)
NE	élément de réseau (<i>network element</i>)
NTP	protocole de diffusion du temps dans le réseau (<i>network time protocol</i>)
OLT	terminaison de ligne optique (<i>optical line termination</i>)
OTN	réseau optique de transport (<i>optical transport network</i>)
PDH	hiérarchie numérique plésiochrone (<i>plesiochronous digital hierarchy</i>)
PDV	variation du temps de transmission des paquets (<i>packet delay variation</i>)
PEC	horloge d'équipement en mode paquet (<i>packet-based equipment clock</i>)
PEC-S-F	horloge d'équipement en mode paquet asservie en fréquence (<i>packet-based equipment clock – slave – frequency</i>)
PHY	(couche) physique (<i>physical (layer)</i>)
PNT	synchronisation du réseau en mode paquet (<i>packet network timing</i>)
PNT-F	fonction PNT (<i>PNT-function</i>)
PRC	horloge de référence primaire (<i>primary reference clock</i>)
PSC-A	horloge adaptative de service en mode paquet (<i>packet-based service clock-adaptive</i>)
PSC-D	horloge différentielle de service en mode paquet (<i>packet-based service clock-differential</i>)
PTP	protocole de précision temporelle (<i>precision time protocol</i>)

PTS	signal de synchronisation par paquets (<i>packet timing signal</i>)
PTSF	signal de synchronisation par paquets défaillant (<i>packet timing signal fail</i>)
QL	niveau de qualité (<i>quality level</i>)
RTPC	réseau téléphonique public commuté
SASE	équipement de synchronisation autonome (<i>stand alone synchronization equipment</i>)
SDH	hiérarchie numérique synchrone (<i>synchronous digital hierarchy</i>)
SEC	horloge d'équipement SDH (<i>SDH equipment clock</i>)
SLA	accord de niveau de service (<i>service level agreement</i>)
SNTP	protocole simple de diffusion du temps dans le réseau (<i>simple network time protocol</i>)
SRTS	horodatage résiduel synchrone (<i>synchronous residual time stamp</i>)
SSM	message d'état de synchronisation (<i>synchronization status message</i>)
SSU	unité de synchronisation (<i>synchronization supply unit</i>)
STM	mode de transfert synchrone (<i>synchronous transfer mode</i>)
TCP	protocole de commande de transmission (<i>transmission control protocol</i>)
TDD	duplex par répartition dans le temps (<i>time division duplex</i>)
TDEV	écart temporel (<i>time deviation</i>)
TDM PW	pseudo-circuit TDM (<i>TDM pseudowire</i>)
TDM	multiplex par répartition dans le temps (<i>time division multiplex</i>)
ToD	heure (<i>time of day</i>)
UI	intervalle unitaire (<i>unit interval</i>)
UTC	temps universel coordonné (<i>coordinated universal time</i>)
WCDMA	accès multiple large bande par répartition en codes (<i>wideband code division multiple access</i>)

5 Précision de la fréquence

5.1 Horloge d'équipement en mode paquet asservie en fréquence

En mode de fonctionnement libre, la précision de la fréquence de sortie de l'horloge d'équipement en mode paquet asservie en fréquence (PEC-S-F) ne devrait pas être supérieure à 4,6 ppm par rapport à une référence calée sur une horloge UIT-T G.811.

NOTE – L'intervalle de temps pour cette précision doit faire l'objet d'un complément d'étude. Les valeurs d'un mois et d'un an ont été proposées.

6 Génération de bruit

Le bruit engendré par une horloge PEC-S correspond au bruit de phase produit à la sortie de ladite horloge lorsque le signal entrant de synchronisation par paquets, servant de référence, est idéal. La Figure 1 illustre la procédure d'essai:

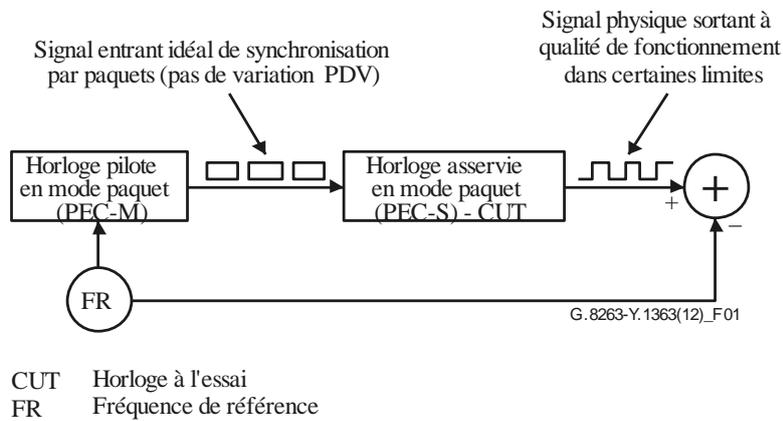


Figure 1 – Procédure d'essai de la génération de bruit

Il convient de noter que les horloges d'équipement en mode paquet asservies en fréquence conformément à l'architecture définie dans la référence [UIT-T G.8265] (voir la Figure 1 de la référence [UIT-T G.8265]) ne sont pas placées en cascade. En raison de cela, il ne devrait pas être nécessaire de spécifier le bruit produit à la sortie de l'horloge lorsque le signal de référence entrant est idéal. En fait, la prescription applicable concernant la génération de bruit est déjà couverte par les spécifications contenues dans le § 7 de la présente Recommandation. Mais cette spécification est donnée afin que les opérateurs de réseau puissent mesurer le bruit produit par l'horloge PEC-S-F dans des conditions idéales, différentes de celles de scénarios où une variation du temps de transmission des paquets (PDV) est présente (essais de tolérance du bruit causé par la variation PDV).

L'erreur maximale sur l'intervalle de temps (MTIE) est mesurée à l'aide de l'équivalent d'un filtre de mesure passe-bas du premier ordre à 10 Hz, le temps maximal d'échantillonnage étant de 1/30 seconde.

6.1 Horloge d'équipement en mode paquet asservie en fréquence

Lorsque l'horloge PEC-S-F est en mode de fonctionnement verrouillé, et qu'elle est synchronisée avec une référence exempte de variation du temps de transmission des paquets, les limites de l'erreur MTIE à la sortie, mesurée au moyen de la même référence que celle de l'horloge pilote en mode paquet qui a émis le signal de synchronisation par paquets, devraient être celles qui sont indiquées dans le Tableau 1, si la température est constante (à $\pm 1^\circ\text{K}$ près).

Tableau 1 – Production de dérapage (MTIE) pour l'horloge PEC-S-F, la température étant constante

Limite MTIE (ns)	Plage d'observation τ (s)
1 000	$0,1 < \tau \leq 1\ 000$
τ	$\tau > 1\ 000$ (Note)
NOTE – La plage d'observation maximale applicable doit faire l'objet d'un complément d'étude.	

Les valeurs prescrites qui en résultent sont représentées sous la forme d'une ligne pleine dans la Figure 2.

Lorsqu'il est tenu compte des effets de la température, la tolérance pour la contribution MTIE totale augmente, comme l'indiquent les valeurs dans le Tableau 2.

Tableau 2 – Production de dérapage supplémentaire (MTIE) pour l'horloge PEC-S-F, compte tenu des effets de la température

Tolérance MTIE supplémentaire (ns)	Plage d'observation τ (s)
1 000	$0,1 < \tau \leq 100$
10τ	$\tau > 100$ (Note)

NOTE – La plage d'observation maximale applicable doit faire l'objet d'un complément d'étude.

Les valeurs prescrites qui en résultent sont représentées sous la forme d'une ligne en pointillés dans la Figure 2.

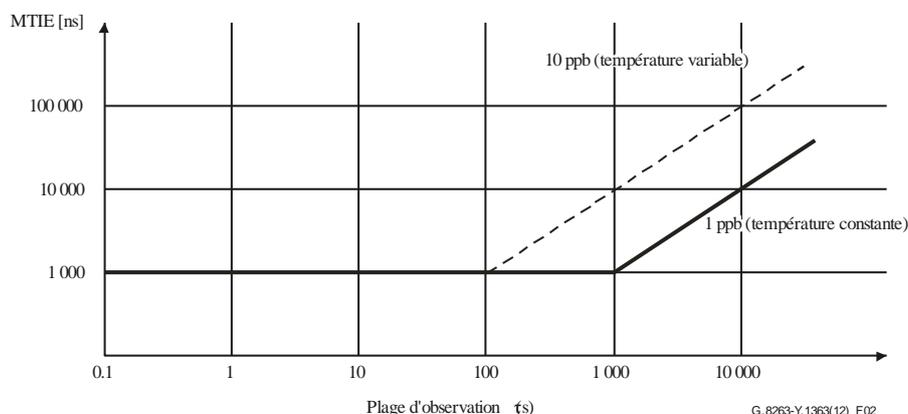


Figure 2 – Production de dérapage (MTIE) pour l'horloge d'équipement en mode paquet asservie en fréquence (PEC-S-F)

NOTE – Pour de longues plages d'observation, l'horloge PEC-S-F est censée compenser les effets dus à la variation de température. En raison de cela, la pente du signal sortant de l'horloge PEC-S-F tendra vers une valeur égale à 1 ppb (10^{-9}).

7 Tolérance du bruit causé par la variation du temps de transmission des paquets

7.1 Horloge d'équipement en mode paquet asservie en fréquence

La tolérance du bruit causé par la variation du temps de transmission des paquets (PDV) de l'horloge PEC-S-F correspond au bruit minimal causé par cette variation du temps de transmission à l'entrée de ladite horloge. Elle indique le bruit au niveau du signal de synchronisation par paquets (PTS) que l'horloge PEC-S-F doit tolérer.

Le modèle qui s'applique à une horloge asservie en mode paquet est représenté dans la Figure A.1. Les caractéristiques de transfert de l'horloge PEC-S-F définissent ses propriétés de filtrage du bruit causé par la variation PDV au niveau du signal de synchronisation par paquets, et engendrent une fréquence d'horloge calée sur le signal entrant de synchronisation, disponible au niveau de l'horloge pilote en mode paquet.

L'horloge PEC-S-F doit tolérer les limites de bruit indiquées au § 8 de la référence [UIT-T G.8261.1] (limites de la variation PDV dans le réseau au point C). Il faut alors que le signal sortant de l'horloge PEC-S-F:

- ne déclenche pas l'alarme PTSF (signal inutilisable) (cela doit faire l'objet d'un complément d'étude);
- n'oblige pas l'horloge à passer en mode de maintien;

- maintenance la qualité de fonctionnement de l'horloge, selon le cas applicable, dans les limites prescrites suivantes:
 - les limites indiquées pour le cas 3 au § 7.2.2 de la référence [UIT-T G.8261.1], telles qu'elles sont définies au point de référence D dans la Figure 3 de la référence [UIT-T G.8261.1]; ou
 - les limites indiquées pour le cas 2 au § 7.2.2 de la référence [UIT-T G.8261.1], telles qu'elles sont définies au point de référence D dans la Figure 3 de la référence [UIT-T G.8261.1]. Ce cas doit faire l'objet d'un complément d'étude.

NOTE 1 – Les limites susmentionnées s'appliquent à une horloge PEC-S-F, non incorporée dans l'application d'extrémité (point C1 dans la Figure 3 de la référence [UIT-T G.8261.1]). Les limites correspondant à l'application d'extrémité au point E dans la Figure 3 de la référence [UIT-T G.8261.1], dans le cas d'une horloge PEC-S-F incorporée dans l'application d'extrémité (point C2 dans la Figure 3 de la référence [UIT-T G.8261.1]), doivent faire l'objet d'un complément d'étude.

NOTE 2 – Pour le débit de paquets particulier employé dans une mise en œuvre concrète de l'horloge PEC-S-F, ladite horloge doit tolérer, dans les limites spécifiées dans la référence [UIT-T G.8265.1], la variation PDV engendrée par le réseau, comme spécifié dans la référence [UIT-T G.8261.1]. Plus particulièrement, pour le modèle HRM-1 de la référence [UIT-T G.8261.1], l'horloge PEC-S-F doit aussi satisfaire à la spécification en matière de qualité de fonctionnement à la sortie, qui concerne son débit de paquets particulier, lorsque seulement 1% des paquets de synchronisation envoyés par l'horloge pilote en mode paquet sont reçus dans un intervalle fixe de 150 μ s, débutant au niveau du temps de transmission plancher dans chacune des fenêtres d'observation de 200 s.

NOTE 3 – L'émission de signaux de synchronisation par paquets (dans une configuration où la variation PDV est présente), sujets au bruit dans les limites spécifiées au § 8 de la référence [UIT-T G.8261.1], doit faire l'objet d'un complément d'étude. La durée maximale de la période d'essai doit faire l'objet d'un complément d'étude aux fins de l'essai à l'entrée de la tolérance de la variation PDV. Des méthodes d'essai possibles pour le modèle HRM-1 de la référence [UIT-T G.8261.1] doivent faire l'objet d'un complément d'étude (voir l'Appendice I de la présente Recommandation).

8 Réponse aux transitoires de phase de longue durée (mode de maintien)

Lorsqu'une horloge PEC-S perd toutes ses références, elle passe en mode de maintien. Ce paragraphe décrit le comportement requis de l'horloge PEC-S dans cet état.

NOTE – Cette spécification du mode de maintien s'applique en supposant qu'il n'y a pas de décalage de fréquence avant le passage en mode de maintien. D'autres cas doivent faire l'objet d'un complément d'étude.

8.1 Horloge d'équipement en mode paquet asservie en fréquence

Pour l'horloge PEC-S-F mise en place conformément à l'architecture UIT-T G.8265, il n'y a en général pas de prescriptions relatives au mode de maintien de longue durée. Dans ce cas, on s'attend que, lorsque la qualité du signal sortant de l'horloge PEC-S-F n'est pas suffisante (par exemple, que les informations sur l'origine sont perdues), le signal sortant de synchronisation de référence devrait être éteint de manière que l'application d'extrémité puisse passer en mode de maintien.

Toutefois, dans certains cas, il pourrait ne pas être possible d'éteindre le signal sortant de synchronisation de référence (par exemple, dans le cas d'un signal de synchronisation de référence acheminé par un signal de trafic à 2 048 kbit/s, associé à certaines applications CES). Dans ces cas, lorsqu'il est disponible, un message SSM acheminé par le signal à 2 048 kbit/s conformément à la référence [UIT-T G.704] pourrait être utilisé pour informer l'équipement connecté de la perte des informations sur l'origine de l'horloge de référence primaire (PRC). Une autre solution serait le lancement d'une alarme de gestion qui permettrait d'informer l'équipement connecté par le biais de la couche gestion.

Si aucune de ces options n'est possible (par exemple, si l'application d'extrémité ne prend pas en charge les messages SSM), un fonctionnement en mode de maintien de longue durée pourrait être requis. Dans ce cas, la spécification suivante du fonctionnement en mode de maintien s'applique.

L'erreur de phase, Δx , à la sortie de l'horloge PEC-S-F par rapport à l'entrée, au moment de la perte de la référence, ne devrait, sur toute durée S exprimée en secondes, pas dépasser la limite suivante:

$$|\Delta x(S)| \leq \{(\mathbf{a}_1 + \mathbf{a}_2)S + 0,5 \mathbf{b} S^2 + \mathbf{c}\}[\text{ns}]$$

La dérivée de $\Delta x(S)$, le décalage de fréquence fractionnaire, devrait, sur toute durée S , satisfaire à la formule suivante:

$$|d(\Delta x(S))/dS| \leq \{\mathbf{a}_1 + \mathbf{a}_2 + \mathbf{b}S\}[\text{ns/s}]$$

La dérivée seconde de $\Delta x(S)$, la dérive de fréquence fractionnaire, devrait, sur toute durée S , satisfaire à la formule suivante:

$$|d^2(\Delta x(S))/dS^2| \leq \mathbf{d} [\text{ns/s}^2]$$

En appliquant les prescriptions susmentionnées à la dérivée de $\Delta x(S)$ et à la dérivée seconde de $\Delta x(S)$, la durée S doit commencer après la fin d'un transitoire quelconque, associé au passage en mode de maintien.

NOTE 1 – \mathbf{a}_1 correspond à un décalage de fréquence initial à température constante (± 1 K).

NOTE 2 – \mathbf{a}_2 rend compte des variations de température après le passage de l'horloge en mode de maintien. S'il n'y a pas de variation de température, le terme $\mathbf{a}_2 S$ ne devrait pas contribuer à l'erreur de phase.

NOTE 3 – \mathbf{b} correspond à la dérive de fréquence moyenne due au vieillissement. Cette valeur est obtenue à partir des caractéristiques types de vieillissement après un fonctionnement continu de 60 jours. Il n'est pas question de mesurer cette valeur chaque jour parce que les effets de la température domineraient.

NOTE 4 – Le décalage de phase \mathbf{c} rend compte de tout décalage de phase supplémentaire qui peut se produire pendant la transition qui accompagne le passage en mode de maintien.

NOTE 5 – \mathbf{d} correspond à la vitesse temporaire maximale de la dérive de fréquence à température constante, admise en mode de maintien. Il n'est toutefois pas exigé que \mathbf{d} et \mathbf{b} soient égaux.

Les valeurs spécifiées admissibles pour les erreurs de phase sont indiquées dans la Tableau 3.

Tableau 3 – Spécifications de la réponse aux transitoires en mode de maintien

\mathbf{a}_1 (ns/s)	1,0
\mathbf{a}_2 (ns/s)	10
\mathbf{b} (ns/s ²)	$1,16 \times 10^{-5}$
\mathbf{c} (ns)	150
\mathbf{d} (ns/s ²)	$1,16 \times 10^{-5}$

9 Réponse en termes de phase aux interruptions de la synchronisation par paquets

La réponse en termes de phase aux interruptions de la synchronisation par paquets doit faire l'objet d'un complément d'étude.

10 Interfaces

Les prescriptions dans la présente Recommandation concernent des points de référence qui sont situés à l'intérieur des éléments de réseau (NE) dans lesquels l'horloge est intégrée et qui, en raison de cela, ne sont pas forcément accessibles à l'utilisateur à des fins de mesure ou d'analyse. En conséquence, la qualité de fonctionnement de l'horloge PEC-S-F est spécifiée, non pas en ces points de référence internes, mais au niveau des interfaces externes de l'équipement.

L'interface de synchronisation d'entrée pour un équipement qui peut contenir une horloge PEC-S-F est l'interface Ethernet, la synchronisation étant acheminée au niveau de la couche paquet.

Les interfaces de synchronisation de sortie pour un équipement Ethernet dans laquelle est contenue une horloge PEC-S-F sont les suivantes:

- interfaces à 1 544 kbit/s conformes à la référence [UIT-T G.703];
- interfaces externes à 2 048 kHz conformes à la référence [UIT-T G.703];
- interfaces à 2 048 kbit/s conformes à la référence [UIT-T G.703];
- interfaces Ethernet synchrones.

NOTE 1 – La qualité de fonctionnement de cette interface peut ne pas être conforme à la référence [UIT-T G.8262].

Toutes les interfaces susmentionnées ne doivent pas nécessairement être employées dans tous les équipements. Ces interfaces devraient être conformes aux prescriptions définies dans la présente Recommandation. L'utilisation d'autres interfaces doit faire l'objet d'un complément d'étude.

NOTE 2 – Pour les interfaces Ethernet synchrone, voir l'Appendice III de la référence [UIT-T G.8262].

Annexe A

Modèle fonctionnel d'horloge en mode paquet

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

La présente Annexe décrit un modèle fonctionnel.

La Figure A.1 représente un modèle fonctionnel d'horloge d'équipement en mode paquet asservie en fréquence (PEC-S-F). Le signal de synchronisation par paquets est traité au moyen d'un algorithme qui permet de sélectionner les paquets à employer pour récupérer la synchronisation. Les informations relatives au temps dans les paquets sélectionnés sont introduites dans le comparateur d'échelles de temps de manière à pouvoir comparer l'échelle pilote et l'échelle locale de temps. La différence entre les temps d'arrivée et de départ signale une erreur et peut servir à commander le débit de l'oscillateur local, qui fournit l'échelle locale de temps, de manière que la progression sur cette échelle locale de temps se fasse à la même vitesse que sur l'échelle pilote de temps. La référence locale peut provenir d'un oscillateur stable, ou "horloge de sortie". La Figure A.1 représente un modèle fonctionnel et n'est pas destinée à spécifier une mise en œuvre particulière. Tout détail spécifique sur la mise en œuvre sort du cadre de la présente Recommandation.

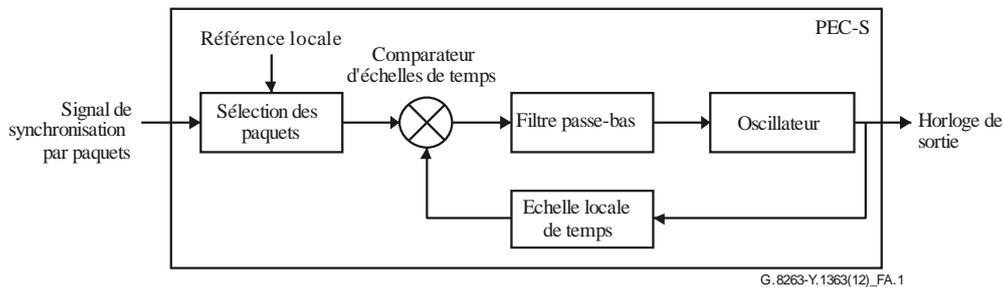


Figure A.1 – Modèle fonctionnel d'horloge d'équipement en mode paquet asservie en fréquence (PEC-S-F)

Appendice I

Tolérance du bruit causé par la variation du temps de transmission des paquets – méthode d'essai

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

La méthode d'essai du modèle HRM-1 de la référence [UIT-T G.8261.1] doit faire l'objet d'un complément d'étude.

Appendice II

Considérations relatives au débit de paquets

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

La présente Recommandation ne nécessite pas de débit de paquets propre à l'horloge en mode paquet.

La référence applicable dans le cas de l'horloge d'équipement en mode paquet asservie en fréquence (PEC-F-S) est la référence [UIT-T G.8265.1] dans laquelle le débit de paquets est défini comme étant compris entre un débit d'un paquet toutes les 16 secondes et un débit de 128 paquets par seconde. Il n'est pas prévu qu'une mise en œuvre PEC-S-F spécifique satisfasse aux prescriptions en matière de qualité de fonctionnement pour l'entièreté de la gamme des débits, et la valeur à utiliser dépendra de la stabilité de l'oscillateur, de la charge du trafic et du type de réseau, ainsi que de l'application visée.

L'expérience a montré que pour une horloge PEC-S-F, telle qu'elle est spécifiée dans la présente Recommandation, des débits de paquets supérieurs à 1 paquet par seconde sont en général utilisés pour satisfaire aux prescriptions spécifiées dans le cas 3 du § 7.2.2 de la référence [UIT-T G.8261.1], lorsque l'exploitation se fait sur un réseau semblable à celui du modèle HRM-1 de la référence [UIT-T G.8261.1].

Le choix d'un débit de paquets peut influencer considérablement sur les prescriptions relatives à la stabilité des oscillateurs.

Il convient de noter que le débit de paquets présentant un intérêt pour la présente Recommandation concerne les conditions d'état stationnaire (le démarrage est hors sujet).

Appendice III

Considérations relatives à la constante de temps de l'horloge d'équipement en mode paquet asservie en fréquence

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

La présente Recommandation ne nécessite pas de constante de temps propre à l'horloge PEC-S-F en mode paquet. Elle ne fait qu'exiger que les objectifs en matière de qualité de fonctionnement à la sortie spécifiés dans la référence [UIT-T G.8261.1] (par exemple dans la Figure 4 de la référence [UIT-T G.8261.1]) soient respectés lorsque le bruit causé par la variation PDV à l'entrée auquel est soumise l'horloge PEC-S-F se situe dans les limites dans le réseau spécifiées dans la référence [UIT-T G.8261.1] (par exemple au § 8 de la référence [UIT-T G.8261.1]).

NOTE 1 – La constante de temps, τ_c , est associée à la largeur de bande de 3 dB de la boucle à verrouillage de phase (PLL), $f_{3\text{db}}$, au moyen de la relation suivante: $\tau_c = 1/(2\pi f_{3\text{db}})$.

Des études ont été menées dans lesquelles une horloge PEC-S-F, conforme au modèle fonctionnel d'horloge asservie en mode paquet défini à l'Annexe A de la référence [UIT-T G.8263], était examinée, sur la base d'une boucle à verrouillage de phase du second ordre, afin de déterminer les valeurs appropriées pour la constante de temps. Dans ces études, il a été tenu compte des données relatives à la variation PDV conformes aux limites dans le réseau définies dans la référence [UIT-T G.8261.1] pour le modèle HRM-1.

Ces études ont révélé qu'une constante de temps considérablement plus élevée que celle des horloges traditionnelles employant la couche physique (par exemple, les horloges SEC ou EEC), de l'ordre d'un millier de secondes ou plus, peut être nécessaire pour satisfaire aux valeurs prescrites dans la Figure 4 de la référence [UIT-T G.8261.1].

NOTE 2 – La constante de temps d'une mise en œuvre donnée d'une horloge PEC-S-F dépend aussi du crédit alloué au bruit de l'oscillateur, qui est en particulier associé aux effets variables de la température. Le bruit de l'oscillateur, dû au vieillissement et aux effets environnementaux, peut en effet limiter la qualité de fonctionnement d'une horloge PEC-S-F, et devrait donc être pris en considération.

L'horloge PEC-S-F joue le rôle d'un filtre passe-bas pour le bruit d'entrée tandis qu'elle joue le rôle d'un filtre passe-haut pour le bruit de l'oscillateur. Pour une qualité de fonctionnement donnée de l'oscillateur, le choix d'une constante de temps pour une boucle résulte d'un compromis entre l'atténuation dans la pratique du bruit d'entrée et la tolérance du bruit de l'oscillateur.

Si la qualité de fonctionnement ciblée de l'horloge PEC-S-F correspond aux valeurs prescrites dans la Figure 4 de la référence [UIT-T G.8261.1], le décalage fractionnaire de fréquence de longue durée à la sortie (c'est-à-dire mesuré à des intervalles d'observation de plus de 1 125 secondes) ne devrait pas dépasser 16 ppb (16×10^{-9}) dans les conditions de bruit d'entrée applicables et dans les conditions environnementales applicables, et cela tout au long de la durée de vie de l'oscillateur.

Pour différencier l'influence de l'oscillateur de celle du bruit d'entrée, deux conditions de fonctionnement pourraient être prises en compte. D'abord, l'influence de l'oscillateur pourrait être déterminée, pour une constante de temps envisagée pour l'horloge PEC-S-F, au moyen des niveaux minimaux de bruit d'entrée. Dans ce cas, afin de fixer une qualité de fonctionnement de l'oscillateur, une valeur cible pour le décalage fractionnaire de fréquence de longue durée de x ppb pourrait être utilisée. Ensuite, lorsqu'un oscillateur idéal est utilisé, la constante de temps de l'horloge PEC-S-F pourrait être choisie de manière que le décalage fractionnaire de fréquence de longue durée à la sortie soit inférieur à $(16-x)$ ppb dans les conditions de bruit d'entrée applicables et dans les limites de la variation PDV dans le réseau.

Il convient de noter que la constante de temps qui a un intérêt pour la présente Recommandation et est examinée dans le présent Appendice, concerne les conditions d'état stationnaire (le démarrage est hors sujet).

RECOMMANDATIONS UIT-T DE LA SÉRIE Y
**INFRASTRUCTURE MONDIALE DE L'INFORMATION, PROTOCOLE INTERNET ET RÉSEAUX DE
 PROCHAINE GÉNÉRATION**

INFRASTRUCTURE MONDIALE DE L'INFORMATION	
Généralités	Y.100–Y.199
Services, applications et intergiciels	Y.200–Y.299
Aspects réseau	Y.300–Y.399
Interfaces et protocoles	Y.400–Y.499
Numérotage, adressage et dénomination	Y.500–Y.599
Gestion, exploitation et maintenance	Y.600–Y.699
Sécurité	Y.700–Y.799
Performances	Y.800–Y.899
ASPECTS RELATIFS AU PROTOCOLE INTERNET	
Généralités	Y.1000–Y.1099
Services et applications	Y.1100–Y.1199
Architecture, accès, capacités de réseau et gestion des ressources	Y.1200–Y.1299
Transport	Y.1300–Y.1399
Interfonctionnement	Y.1400–Y.1499
Qualité de service et performances de réseau	Y.1500–Y.1599
Signalisation	Y.1600–Y.1699
Gestion, exploitation et maintenance	Y.1700–Y.1799
Taxation	Y.1800–Y.1899
Télévision IP sur réseaux de prochaine génération	Y.1900–Y.1999
RÉSEAUX DE PROCHAINE GÉNÉRATION	
Cadre général et modèles architecturaux fonctionnels	Y.2000–Y.2099
Qualité de service et performances	Y.2100–Y.2199
Aspects relatifs aux services: capacités et architecture des services	Y.2200–Y.2249
Aspects relatifs aux services: interopérabilité des services et réseaux dans les réseaux de prochaine génération	Y.2250–Y.2299
Améliorations concernant les réseaux de prochaine génération	Y.2300–Y.2399
Gestion de réseau	Y.2400–Y.2499
Architectures et protocoles de commande de réseau	Y.2500–Y.2599
Réseaux de transmission par paquets	Y.2600–Y.2699
Sécurité	Y.2700–Y.2799
Mobilité généralisée	Y.2800–Y.2899
Environnement ouvert de qualité opérateur	Y.2900–Y.2999
RÉSEAUX FUTURS	Y.3000–Y.3499
INFORMATIQUE EN NUAGE	Y.3500–Y.3999

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

SÉRIES DES RECOMMANDATIONS UIT-T

Série A	Organisation du travail de l'UIT-T
Série D	Principes généraux de tarification
Série E	Exploitation générale du réseau, service téléphonique, exploitation des services et facteurs humains
Série F	Services de télécommunication non téléphoniques
Série G	Systemes et supports de transmission, systemes et reseaux numériques
Série H	Systemes audiovisuels et multimédias
Série I	Reseau numérique à intégration de services
Série J	Reseaux câblés et transmission des signaux radiophoniques, télévisuels et autres signaux multimédias
Série K	Protection contre les perturbations
Série L	Environnement et TIC, changement climatique, déchets d'équipements électriques et électroniques, efficacité énergétique; construction, installation et protection des câbles et autres éléments des installations extérieures
Série M	Gestion des télécommunications y compris le RGT et maintenance des reseaux
Série N	Maintenance: circuits internationaux de transmission radiophonique et télévisuelle
Série O	Spécifications des appareils de mesure
Série P	Terminaux et méthodes d'évaluation subjectives et objectives
Série Q	Commutation et signalisation
Série R	Transmission télégraphique
Série S	Equipements terminaux de télégraphie
Série T	Terminaux des services télématiques
Série U	Commutation télégraphique
Série V	Communications de données sur le réseau téléphonique
Série X	Reseaux de données, communication entre systemes ouverts et sécurité
Série Y	Infrastructure mondiale de l'information, protocole Internet et reseaux de prochaine génération
Série Z	Langages et aspects généraux logiciels des systemes de télécommunication