

**UIT-T**

**G.8262/Y.1362**

SECTEUR DE LA NORMALISATION  
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS  
DE L'UIT

(01/2015)

**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 asservies des équipements Ethernet  
synchrone**

Recommandation UIT-T G.8262/Y.1362

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 RADIODÉLÉPHONIE 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
<b>Synchronisation, objectifs de qualité et de disponibilité</b>	<b>G.8200–G.8299</b>
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.8262/Y.1362

### Caractéristiques de synchronisation des horloges asservies des équipements Ethernet synchrone

#### Résumé

La Recommandation UIT-T G.8262/Y.1362 décrit en grandes lignes les prescriptions s'appliquant aux dispositifs de synchronisation intégrés dans les équipements de réseau, qui prennent en charge l'Ethernet synchrone. Elle définit les prescriptions qui s'appliquent aux horloges, notamment en ce qui concerne la largeur de bande, la précision de la fréquence, le mode de maintien et la génération de bruit.

#### Historique

Edition	Recommandation	Approbation	Commission d'études	ID unique*
1.0	ITU-T G.8262/Y.1362	2007-08-13	15	<a href="http://handle.itu.int/11.1002/1000/9190">11.1002/1000/9190</a>
1.1	ITU-T G.8262/Y.1362 (2007) Amd. 1	2008-04-29	15	<a href="http://handle.itu.int/11.1002/1000/9417">11.1002/1000/9417</a>
1.2	ITU-T G.8262/Y.1362 (2007) Amd.2	2010-01-13	15	<a href="http://handle.itu.int/11.1002/1000/10432">11.1002/1000/10432</a>
2.0	ITU-T G.8262/Y.1362	2010-07-29	15	<a href="http://handle.itu.int/11.1002/1000/10909">11.1002/1000/10909</a>
2.1	ITU-T G.8262/Y.1362 (2010) Amd. 1	2012-02-13	15	<a href="http://handle.itu.int/11.1002/1000/11523">11.1002/1000/11523</a>
2.2	ITU-T G.8262/Y.1362 (2010) Amd. 2	2012-10-29	15	<a href="http://handle.itu.int/11.1002/1000/11814">11.1002/1000/11814</a>
3.0	ITU-T G.8262/Y.1362	2015-01-13	15	<a href="http://handle.itu.int/11.1002/1000/12389">11.1002/1000/12389</a>

#### Mots clés

Horloge, gigue, synchronisation, dérapage.

---

\* 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

		<b>Page</b>
1	Domaine d'application .....	1
2	Références.....	2
3	Définitions .....	2
4	Abréviations et acronymes .....	2
5	Convention.....	3
6	Précision de la fréquence .....	3
	6.1 Option EEC 1 .....	3
	6.2 Option EEC 2 .....	4
7	Plage d'accrochage, de maintien et de décrochage .....	4
	7.1 Plage d'accrochage.....	4
	7.2 Plage de maintien .....	4
	7.3 Plage de décrochage .....	4
8	Génération de bruit .....	4
	8.1 Dérapage en mode verrouillé.....	5
	8.2 Dérapage en mode non verrouillé.....	7
	8.3 Gigue .....	8
9	Tolérance de bruit.....	9
	9.1 Tolérance de dérapage .....	9
	9.2 Tolérance de gigue .....	12
10	Transfert de bruit .....	15
	10.1 Option EEC 1 .....	15
	10.2 Option EEC 2 .....	15
11	Réponse aux transitoires et qualité de fonctionnement en mode de maintien.....	16
	11.1 Réponse aux transitoires de phase de courte durée .....	17
	11.2 Réponse aux transitoires de phase de longue durée (mode de maintien) .....	18
	11.3 Réponse en termes de phase aux interruptions du signal entrant .....	20
	11.4 Discontinuité de la phase.....	20
12	Interfaces.....	21
	12.1 Interfaces de synchronisation externes.....	21
	Appendice I – Eléments de réseau hybrides employant les interfaces STM-N et Ethernet (ETY).....	23
	Appendice II – Relations entre les prescriptions contenues dans la présente Recommandation et d'autres Recommandations essentielles associées à la synchronisation .....	24
	Appendice III – Liste des interfaces Ethernet applicables à l'Ethernet synchrone .....	25
	Appendice IV – Considérations associées à l'Ethernet synchrone pour les interfaces 1000BASE-T et 10GBASE-T.....	29

	<b>Page</b>
Appendice V – Considérations relatives à la mesure du transfert de bruit dans le cas des horloges destinées à l'option EEC 2 .....	32
Bibliographie.....	33

## **Introduction**

La méthode de l'Ethernet synchrone se réfère à la méthode d'acheminement (utilisant par exemple, le système mondial de navigation par satellite (GNSS)) de la synchronisation en provenance des horloges de référence primaires (PRC) ou des horloges de référence temporelle primaires (PRTC), ou à la méthode maître-esclave qui emploie une couche physique synchrone (par exemple, la couche ETY ou le module STM-N). Ces méthodes sont appliquées à grande échelle pour la synchronisation du multiplexage par répartition dans le temps (TDM) et des réseaux mobiles de raccordement.



## **Recommandation UIT-T G.8262/Y.1362**

### **Caractéristiques de synchronisation des horloges asservies des équipements Ethernet synchrone**

#### **1 Domaine d'application**

La présente Recommandation décrit en grandes lignes les prescriptions minimales s'appliquant aux dispositifs de synchronisation intégrés dans les équipements de réseau, qui prennent en charge l'Ethernet synchrone. Elle permet d'assurer l'acheminement de la synchronisation en provenance des horloges au moyen de méthodes de codes de ligne acheminés dans les réseaux synchrones (par exemple, l'Ethernet synchrone).

La présente Recommandation assure un bon fonctionnement du réseau lorsqu'une horloge d'un équipement Ethernet synchrone (EEC) (option 1 ou 2) est calée sur une autre horloge d'un équipement du réseau ou sur une horloge de meilleure qualité.

Elle contient les prescriptions relatives à la précision des horloges, au transfert de bruit, à la qualité de fonctionnement en mode de maintien, à la tolérance de bruit et à la génération de bruit. Ces prescriptions s'appliquent dans des conditions environnementales normales spécifiées pour l'équipement.

La présente Recommandation prévoit deux options pour les équipements Ethernet synchrone. La première option, nommée "option EEC 1", concerne les équipements Ethernet synchrone qui sont conçus pour l'interfonctionnement avec les réseaux optimisés pour la hiérarchie à 2 048 kbit/s. Ces réseaux admettent la chaîne de synchronisation de référence dans les cas les plus défavorables, comme indiqué dans la Figure 8-5 de la référence [UIT-T G.803]. La deuxième option, nommée "option EEC 2", concerne les équipements Ethernet synchrone qui sont conçus pour l'interfonctionnement avec les réseaux optimisés pour la hiérarchie à 1 544 kbit/s. La chaîne de synchronisation de référence pour ces réseaux est définie au § II.3 de la référence [UIT-T G.813].

Une horloge asservie d'un équipement Ethernet synchrone devrait satisfaire à toutes les prescriptions s'appliquant à une option donnée et ne devrait pas mélanger les prescriptions s'appliquant aux options EEC 1 et 2. Dans les paragraphes dans lesquels une seule prescription est spécifiée, elle est commune aux deux options. Il est prévu d'harmoniser les options EEC 1 et 2 à l'avenir. Le but de l'Ethernet synchrone est de permettre l'interfonctionnement avec des réseaux de synchronisation fondés sur la référence [UIT-T G.813].

Il convient de procéder avec soin lorsque l'interfonctionnement est envisagé entre les réseaux prenant en charge l'Ethernet synchrone, fondés sur l'option EEC 1, et les réseaux prenant en charge l'Ethernet synchrone, fondés sur l'option EEC 2.

Certains éléments du réseau (NE) Ethernet synchrone peuvent disposer d'une horloge de meilleure qualité. La présente Recommandation assure un bon fonctionnement de réseau lorsqu'un équipement Ethernet synchrone (option EEC 1 ou 2) est calé soit sur un autre équipement Ethernet synchrone (de même option), soit sur une horloge d'équipement SDH (SEC) ou sur une horloge de meilleure qualité. L'acheminement hiérarchique de la synchronisation est recommandé pour les réseaux Ethernet synchrone. La synchronisation ne devrait pas être transmise d'un équipement Ethernet synchrone en mode de fonctionnement libre/mode de maintien à une horloge de meilleure qualité, parce que celle-ci ne devrait pas se caler sur un signal Ethernet synchrone émis dans des conditions de défaillance.

Certains équipements Ethernet, tels que les régénérateurs/répéteurs, doivent pouvoir temporiser la transmission de la synchronisation par le biais de l'Ethernet synchrone. Ces équipements doivent faire l'objet d'un complément d'étude.

De plus amples informations sur l'Ethernet synchrone sont données dans les références [UIT-T G.781], [UIT-T G.8261] et [UIT-T G.8264].

## 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.703] Recommandation UIT-T G.703 (2001), *Caractéristiques physiques et électriques des interfaces numériques hiérarchiques*.
- [UIT-T G.781] Recommandation UIT-T G.781 (1999), *Fonctions des couches de synchronisation*.
- [UIT-T G.803] Recommandation UIT-T G.803 (2000), *Architecture des réseaux de transport à hiérarchie numérique synchrone*.
- [UIT-T G.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.812] Recommandation UIT-T G.812 (2004), *Spécifications de rythme des horloges asservies utilisées comme horloges nodales dans les réseaux de synchronisation*.
- [UIT-T G.813] Recommandation UIT-T G.813 (2003), *Caractéristiques de rythme des horloges asservies utilisées dans les équipements SDH*.
- [UIT-T G.825] Recommandation UIT-T G.825 (2000), *Régulation de la gigue et du dérapage dans les réseaux numériques à hiérarchie numérique synchrone*.
- [UIT-T G.8261] Recommandation UIT-T G.8261/Y.1361 (2008), *Aspects de rythme et de synchronisation des réseaux paquets*.
- [UIT-T G.8264] Recommandation UIT-T G.8264/Y.1364 (2008), *Distribution du rythme dans les réseaux par paquets*.
- [UIT-T G.8272] Recommandation UIT-T G.8272 (2015), *Caractéristiques de rythme des horloges de référence primaires*.
- [IEEE 802.3] IEEE Standard 802.3 (2012), *IEEE Standard for Ethernet*.

## 3 Définitions

Les termes et définitions utilisés dans la présente Recommandation sont contenus dans la référence [UIT-T G.810].

## 4 Abréviations et acronymes

La présente Recommandation emploie les abréviations et les acronymes suivants:

- BITS source de synchronisation intégrée (*building integrated timing source*)
- BPSK modulation par déplacement de phase bivalente (*binary phase shift keying*)

CSMA/CD	accès multiple par détection de porteuse avec détection de collision ( <i>carrier sense multiple access with collision detection</i> )
DSL	ligne d'abonné numérique ( <i>digital subscriber line</i> )
EC	horloge d'équipement ( <i>equipment clock</i> )
EEC	horloge d'équipement Ethernet synchrone ( <i>synchronous Ethernet equipment clock</i> )
ESMC	canal de messagerie de synchronisation Ethernet ( <i>Ethernet synchronization message channel</i> )
ETH	réseau de couche MAC Ethernet ( <i>Ethernet MAC layer network</i> )
ETY	réseau de couche PHY Ethernet ( <i>Ethernet PHY layer network</i> )
GNSS	système mondial de navigation par satellite ( <i>global navigation satellite system</i> )
MAC	commande d'accès au support ( <i>media access control</i> )
MTIE	erreur maximale sur l'intervalle de temps ( <i>maximum time interval error</i> )
NE	élément de réseau ( <i>network element</i> )
NRZ	non-remise à zéro ( <i>non-return to zero</i> )
OAM	exploitation, administration et maintenance ( <i>operations, administration and maintenance</i> )
PAM	modulation d'impulsions en amplitude ( <i>pulse amplitude modulation</i> )
PHY	couche physique ( <i>physical layer</i> )
ppm	parties par million
PRC	horloge de référence primaire ( <i>primary reference clock</i> )
PRTC	horloge de référence temporelle primaire ( <i>primary reference time clock</i> )
SDH	hiérarchie numérique synchrone ( <i>synchronous digital hierarchy</i> )
SEC	horloge d'équipement SDH ( <i>SDH equipment clock</i> )
SSM	message d'état de synchronisation ( <i>synchronization status message</i> )
SSU	unité de synchronisation ( <i>synchronization supply unit</i> )
STM-N	module de transport synchrone de niveau N ( <i>synchronous transport module-N</i> )
TDEV	écart temporel ( <i>time deviation</i> )
TDM	multiplexage par répartition dans le temps ( <i>time division multiplexing</i> )
UI	intervalle unitaire ( <i>unit interval</i> )
UTC	temps universel coordonné ( <i>coordinated universal time</i> )

## 5 Convention

Aucune.

## 6 Précision de la fréquence

### 6.1 Option EEC 1

En mode de fonctionnement libre, la précision de la fréquence de sortie de l'horloge EEC ne devrait pas être supérieure à 4,6 ppm par rapport à une référence donnée par une horloge [UIT-T G.811] ou [UIT-T G.8272].

NOTE – L'intervalle temporel pour cette précision doit faire l'objet d'un complément d'étude. Des valeurs d'un mois et d'une année ont été proposées.

## **6.2 Option EEC 2**

En mode de maintien prolongé, la précision de la fréquence de sortie des différents types d'horloges de nœud ne devrait pas être supérieure à 4,6 ppm par rapport à une référence donnée par une horloge de référence primaire, sur une durée T d'un an.

NOTE – La durée T s'applique après 30 jours d'exploitation synchronisée continue.

## **7 Plage d'accrochage, de maintien et de décrochage**

### **7.1 Plage d'accrochage**

#### **7.1.1 Option EEC 1**

La plage d'accrochage minimale devrait être de  $\pm 4,6$  ppm, quel que soit le décalage de la fréquence de l'oscillateur interne.

#### **7.1.2 Option EEC 2**

La plage d'accrochage minimale devrait être de  $\pm 4,6$  ppm, quel que soit le décalage de la fréquence de l'oscillateur interne.

### **7.2 Plage de maintien**

#### **7.2.1 Option EEC 1**

Aucune plage de maintien n'est requise pour l'option EEC 1.

#### **7.2.2 Option EEC 2**

La plage de maintien pour l'option EEC 2 devrait être de  $\pm 4,6$  ppm, quel que soit le décalage de la fréquence de l'oscillateur interne.

### **7.3 Plage de décrochage**

#### **7.3.1 Option EEC 1**

La plage de décrochage doit faire l'objet d'un complément d'étude. Une plage minimale de  $\pm 4,6$  ppm a été proposée.

#### **7.3.2 Option EEC 2**

La plage de décrochage n'est pas applicable.

## **8 Génération de bruit**

Le bruit généré par une horloge EEC correspond au bruit de phase produit à la sortie lorsque le signal de référence entrant est excellent ou que l'horloge est en mode de maintien. Une référence appropriée, destinée à des essais pratiques, nécessite un niveau de qualité de fonctionnement au moins dix fois plus stable que celui des prescriptions applicables à la sortie. L'aptitude de l'horloge à limiter ce bruit est décrite par sa stabilité en fréquence. L'erreur maximale sur l'intervalle de temps (MTIE) et l'écart temporel (TDEV) sont utiles pour déterminer les caractéristiques du bruit généré.

L'erreur MTIE et l'écart TDEV sont mesurés à l'aide de l'équivalent d'un filtre de mesure passe-bas du premier ordre à 10 Hz, le temps maximal d'échantillonnage  $\tau_0$  étant de 1/30 secondes. La durée de mesure minimale de l'écart TDEV est égale à douze fois la durée d'intégration ( $T = 12\tau$ ).

## 8.1 Dérapage en mode verrouillé

### 8.1.1 Option EEC 1

Lorsque l'horloge EEC est en mode de fonctionnement verrouillé, synchronisée avec une référence exempte de dérapage, les limites de l'erreur MTIE, qui est mesurée au moyen de la configuration des horloges synchronisées définie dans la Figure 1a de la référence [UIT-T G.810], 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'option EEC 1, la température étant constante**

Limite MTIE [ns]	Plage d'observation $\tau$ [s]
40	$0,1 < \tau \leq 1$
$40 \tau^{0,1}$	$1 < \tau \leq 100$
$25,25 \tau^{0,2}$	$100 < \tau \leq 1\ 000$

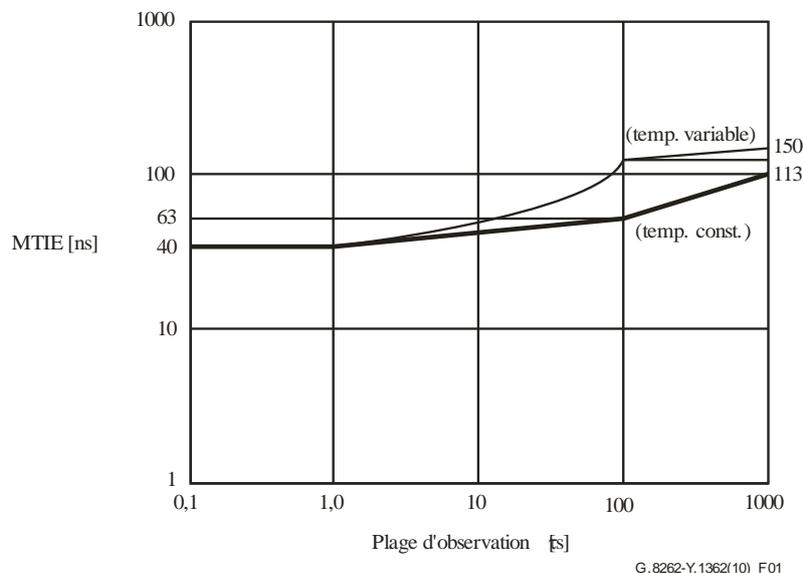
Les valeurs prescrites qui en résultent sont représentées sous la forme d'une ligne pleine épaisse dans la Figure 1.

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

**Tableau 2 – Production de dérapage supplémentaire (MTIE) pour l'option EEC 1, compte tenu des effets de la température**

Tolérance MTIE supplémentaire [ns]	Plage d'observation $\tau$ [s]
$0,5 \tau$	$\tau \leq 100$
50	$\tau > 100$

Les valeurs prescrites qui en résultent sont représentées sous la forme d'une ligne pleine mince dans la Figure 1.



**Figure 1 – Production de dérapage (MTIE) pour l'option EEC 1**

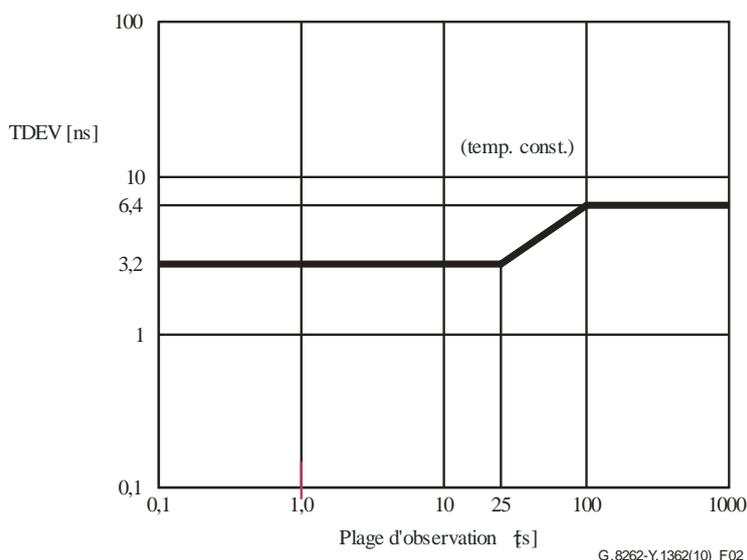
Lorsque l'horloge EEC est en mode de fonctionnement verrouillé, les limites de l'écart TDEV, qui est mesuré au moyen de la configuration des horloges synchronisées définie dans la Figure 1a de la

référence [UIT-T G.810], devraient être celles qui sont indiquées dans le Tableau 3, si la température est constante (à  $\pm 1^\circ\text{K}$  près):

**Tableau 3 – Production de dérapage (TDEV) pour l'option EEC 1, la température étant constante**

Limite TDEV [ns]	Plage d'observation $\tau$ [s]
3,2	$0,1 < \tau \leq 25$
$0,64 \tau^{0,5}$	$25 < \tau \leq 100$
6,4	$100 < \tau \leq 1\ 000$

Les valeurs prescrites qui en résultent sont représentées dans la Figure 2.



**Figure 2 – Production de dérapage (TDEV) pour l'option EEC 1, la température étant constante**

La tolérance pour la contribution TDEV totale d'une horloge EEC, lorsqu'il est tenu compte des effets de la température, doit faire l'objet d'un complément d'étude.

### 8.1.2 Option EEC 2

Lorsque l'horloge EEC est en mode de fonctionnement verrouillé, synchronisée avec une référence exempte de dérapage, l'erreur MTIE et l'écart TDEV mesurés à la sortie à une température constante (à  $\pm 1^\circ\text{K}$  près) doivent être inférieurs aux limites indiquées dans les Tableaux 4 et 5, respectivement.

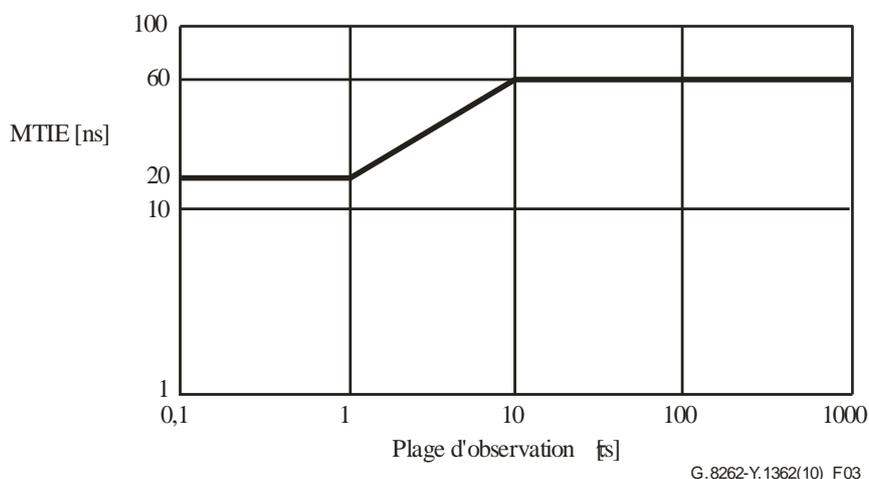
**Tableau 4 – Production de dérapage (MTIE) pour l'option EEC 2, la température étant constante**

Limite MTIE [ns]	Plage d'observation $\tau$ [s]
20	$0,1 < \tau \leq 1$
$20 \tau^{0,48}$	$1 < \tau \leq 10$
60	$10 < \tau \leq 1\ 000$

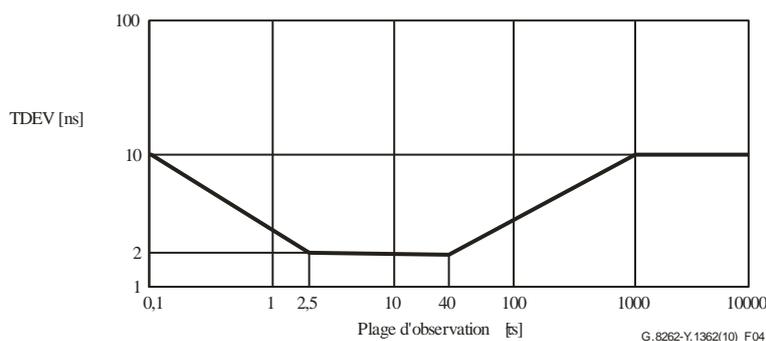
**Tableau 5 – Production de dérapage (TDEV) pour l'option EEC 2, la température étant constante**

Limite TDEV [ns]	Plage d'observation $\tau$ [s]
$3,2 \tau^{-0,5}$	$0,1 < \tau \leq 2,5$
2	$2,5 < \tau \leq 40$
$0,32 \tau^{0,5}$	$40 < \tau \leq 1\ 000$
10	$1\ 000 < \tau \leq 10\ 000$

Les valeurs prescrites qui en résultent sont représentées dans les Figures 3 et 4.



**Figure 3 – Production de dérapage (MTIE) pour l'option EEC 2, la température étant constante**



**Figure 4 – Production de dérapage (TDEV) pour l'option EEC 2, la température étant constante**

## 8.2 Dérapage en mode non verrouillé

Lorsqu'une horloge n'est pas calée sur une synchronisation de référence, les composantes du bruit aléatoire sont négligeables par rapport aux effets déterministes tels que le décalage initial de la fréquence. Les effets du dérapage en mode non verrouillé sont donc incorporés dans le § 11.2.

## 8.3 Gigue

Alors que la plupart des valeurs prescrites dans la présente Recommandation sont indépendantes de l'interface de sortie au niveau de laquelle elles sont mesurées, ce n'est pas le cas pour la production

de gigue, les prescriptions la concernant étant fondées sur des Recommandations existantes dont les limites diffèrent en fonction du débit des interfaces. Ces prescriptions sont énoncées séparément pour les interfaces identifiées dans le § 12.

### 8.3.1 Options EEC 1 et EEC 2

*Gigue de sortie au niveau d'une interface Ethernet synchrone:*

En l'absence de gigue d'entrée au niveau de l'interface de synchronisation, la gigue intrinsèque au niveau des interfaces Ethernet synchrone de sortie, mesurée sur une durée de 60 secondes, ne devrait pas dépasser les limites indiquées dans le Tableau 6.

**Tableau 6 – Production de gigue au niveau des interfaces Ethernet synchrone pour les options EEC 1 et 2**

Interface	Filtre de mesure	Amplitude de crête à crête (UI)
1G (Notes 1, 2, 4, 5)	2,5 kHz à 10 MHz	0,50
10G (Notes 1, 3, 4, 5)	20 kHz à 80 MHz	0,50
25G (Notes 1, 4, 5, 6)	20 kHz à 200 MHz	1,2

NOTE 1 – Il n'existe pas de prescription propre à la gigue haute bande pour l'Ethernet synchrone. Outre les valeurs prescrites propres à la gigue large bande Ethernet synchrone, spécifiées dans le présent tableau, les prescriptions pertinentes IEEE 802.3 relatives à la gigue doivent être satisfaites. Les prescriptions [IEEE 802.3] définissent les méthodes de mesure. L'applicabilité de ces méthodes de mesure dans un environnement de réseau de synchronisation doit faire l'objet d'un complément d'étude.

NOTE 2 – Les interfaces 1G comprennent les interfaces 1000BASE-KX, -SX et -LX. Les interfaces multivoies doivent faire l'objet d'un complément d'étude.

NOTE 3 – Les interfaces 10G comprennent les interfaces 10GBASE-SR/LR/ER, 10GBASE-LRM et 10GBASE-SW/LW/EW et les interfaces multivoies constituées des voies 10G, comprenant les interfaces 40GBASE-KR4/CR4/SR4/LR4 et 100GBASE-CR10/SR10.

NOTE 4 – Les interfaces 25G comprennent les interfaces multivoies constituées des voies 25G, comprenant les interfaces 100GBASE-LR4/ER4.

NOTE 5 – Pour les interfaces

1G: (1000BASE-KX, -SX, -LX)	1 UI = 0,8 ns
10G (10GBASE-SR/LR/ER, -LRM, 40GBASE-KR4/CR4/SR4/LR4, 100GBASE-CR10/SR10):	1 UI = 96,97 ps
10G (10GBASE-SW/LW/EW):	1 UI = 100,47 ps
25G (100GBASE-LR4/ER4):	1 UI = 38,79 ps

NOTE 6 – L'amplitude de la gigue de crête à crête pour les voies 25G est passée de 0,5 UI à 1,2 UI, ce qui veut dire qu'elle a été multipliée par un facteur 2,4. Afin de compenser cette augmentation, la fréquence de coupure passe-haut employée pour les interfaces 10G devrait être multipliée par un facteur 2,5 pour tenir compte de l'augmentation du débit au niveau des interfaces 10G, puis divisée par un facteur 2,4 pour tenir compte de l'augmentation de l'amplitude. Cela conduit à une fréquence de coupure passe-haut de 20,833 kHz, qui a été arrondie vers le bas à 20 kHz pour des raisons de commodité. Cet arrondi vers le bas est un peu plus restrictif.

*Gigue de sortie au niveau des interfaces à 2 048 kHz, 2 048 kbit/s, 1 544 kbit/s, et des interfaces STM-N:*

La production de gigue au niveau de l'interface à 2 048 kHz et 2 048 kbit/s et des interfaces STM-N est définie pour l'option 1 au § 7.3 de la référence [UIT-T G.813].

La production de gigue au niveau de l'interface à 1 544 kbit/s et des interfaces STM-N est définie pour l'option 2 au § 7.3 de la référence [UIT-T G.813].

## 9 Tolérance de bruit

La tolérance du bruit d'une horloge EEC correspond au niveau minimal de bruit de phase à l'entrée de cette horloge qui devrait être toléré:

- en faisant en sorte que l'horloge respecte les limites de qualité de fonctionnement prescrites. Les limites exactes doivent faire l'objet d'un complément d'étude;
- en ne provoquant pas d'alarme;
- en n'amenant pas l'horloge à changer de référence;
- en ne provoquant pas le passage de l'horloge en mode de maintien.

En général, la tolérance du bruit de l'horloge EEC est la même que la limite dans le réseau pour l'interface de synchronisation afin de conserver une qualité de fonctionnement acceptable. Toutefois, cette limite pour l'interface de synchronisation peut différer selon les applications. En raison de cela, pour déterminer la tolérance du bruit d'une horloge EEC, la limite qui correspond au cas le plus défavorable devrait être utilisée. Une explication des différentes limites est donnée à l'Appendice I de la référence [UIT-T G.813].

Les tolérances de dérapage et de gigue indiquées dans les § 9.1 et 9.2 correspondent aux plus mauvais niveaux qu'une interface acheminant la synchronisation puisse avoir. Le signal TDEV utilisé pour un essai de conformité devrait être produit par l'addition de sources de bruit blanc gaussien, chacune ayant été filtrée pour obtenir le type correct de bruit avec l'amplitude correcte.

L'erreur MTIE et l'écart TDEV sont mesurés à l'aide de l'équivalent d'un filtre de mesure passe-bas du premier ordre à 10 Hz, le temps maximal d'échantillonnage  $\tau_0$  étant de 1/30 secondes. La durée de mesure minimale de l'écart TDEV est égale à douze fois la durée d'intégration ( $T = 12\tau$ ).

### 9.1 Tolérance de dérapage

#### 9.1.1 Option EEC 1

La tolérance du dérapage d'entrée en termes de limites de l'erreur MTIE et de l'écart TDEV est indiquée dans les Tableaux 7 et 8, respectivement.

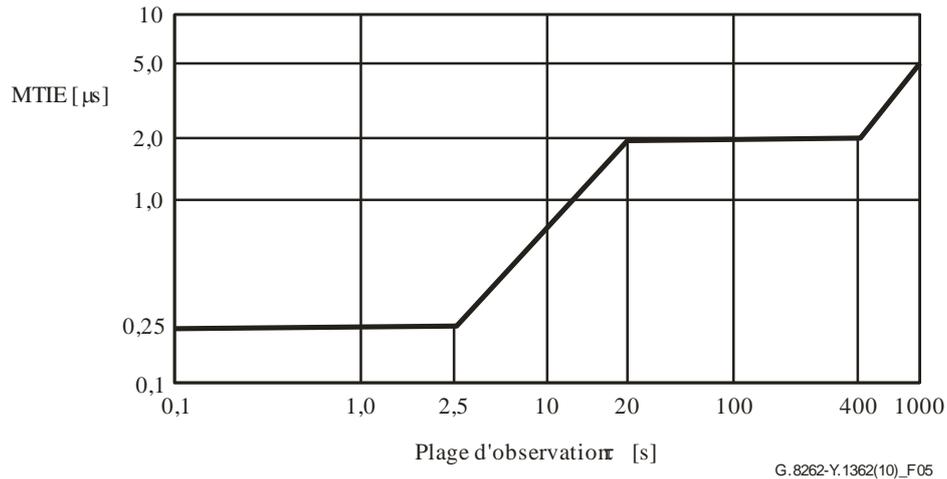
**Tableau 7 – Tolérance du dérapage d'entrée (MTIE) pour l'option EEC 1**

Limite MTIE [ $\mu$ s]	Plage d'observation $\tau$ [s]
0,25	$0,1 < \tau \leq 2,5$
$0,1 \tau$	$2,5 < \tau \leq 20$
2	$20 < \tau \leq 400$
$0,005 \tau$	$400 < \tau \leq 1\ 000$

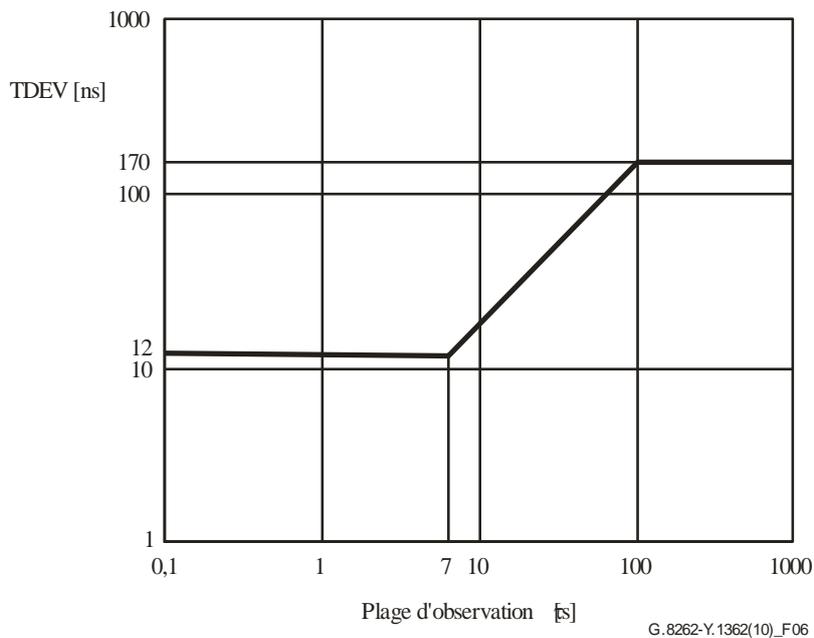
**Tableau 8 – Tolérance du dérapage d'entrée (TDEV) pour l'option EEC 1**

Limite TDEV [ns]	Plage d'observation $\tau$ [s]
12	$0,1 < \tau \leq 7$
$1,7 \tau$	$7 < \tau \leq 100$
170	$100 < \tau \leq 1\ 000$

Les valeurs prescrites qui en résultent sont représentées dans les Figures 5 et 6.



**Figure 5 – Tolérance du dérapage d'entrée (MTIE) pour l'option EEC 1**



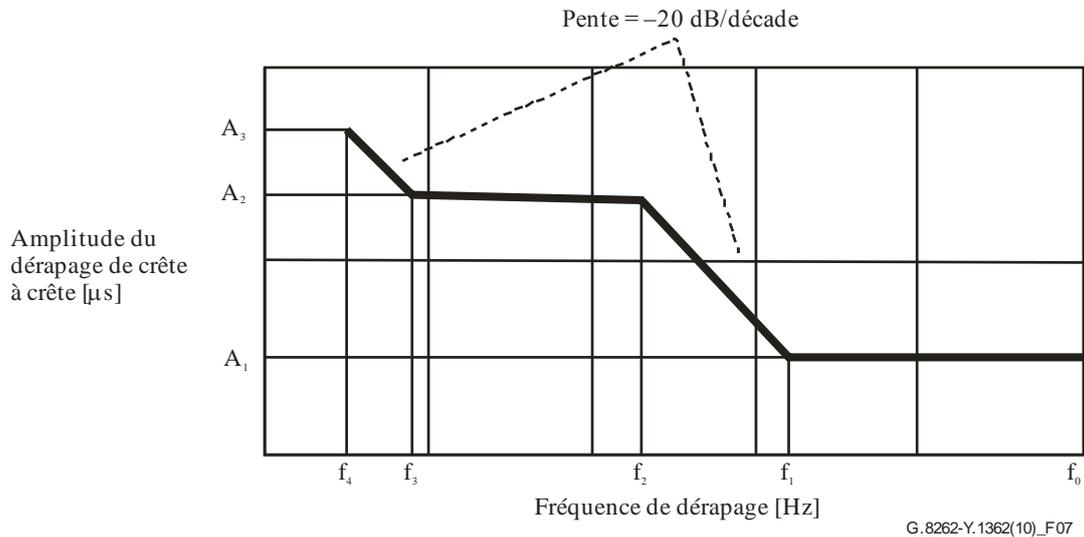
**Figure 6 – Tolérance du dérapage d'entrée (TDEV) pour l'option EEC 1**

Des signaux d'essai appropriés qui permettent de vérifier la conformité avec le gabarit représenté dans la Figure 6 sont à l'étude. Des signaux d'essai avec une variation de phase sinusoïdale peuvent être utilisés, conformément aux niveaux indiqués dans le Tableau 9, pour vérifier la conformité avec le gabarit représenté dans la Figure 5.

**Tableau 9 – Limite inférieure du dérapage sinusoïdal d'entrée maximal admissible pour l'option EEC 1**

Amplitude du dérapage de crête à crête			Fréquence de dérapage				
A <sub>1</sub> [μs]	A <sub>2</sub> [μs]	A <sub>3</sub> [μs]	f <sub>4</sub> [mHz]	f <sub>3</sub> [mHz]	f <sub>2</sub> [mHz]	f <sub>1</sub> [Hz]	f <sub>0</sub> [Hz]
0,25	2	5	0,32	0,8	16	0,13	10

Les valeurs prescrites qui en résultent sont représentées dans la Figure 7.



**Figure 7 – Limite inférieure du dérapage sinusoïdal d'entrée maximal admissible pour l'option EEC 1**

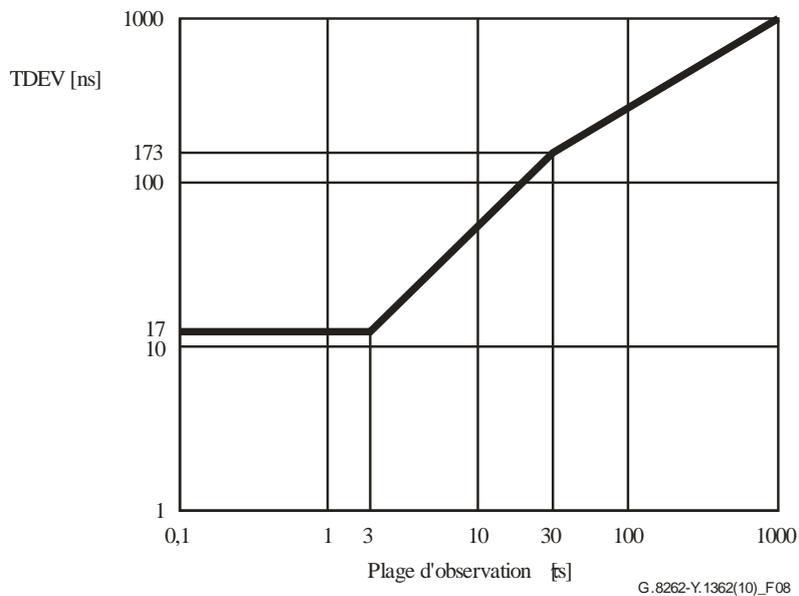
### 9.1.2 Option EEC 2

La tolérance du dérapage d'entrée en termes d'écart TDEV est spécifiée dans le Tableau 10.

**Tableau 10 – Tolérance du dérapage d'entrée (TDEV) pour l'option EEC 2**

Limite TDEV [ns]	Plage d'observation $\tau$ [s]
17	$0,1 < \tau \leq 3$
$5,77 \tau$	$3 < \tau \leq 30$
$31,6325 \tau^{0,5}$	$30 < \tau \leq 1\ 000$

Les valeurs prescrites qui en résultent sont représentées dans la Figure 8. Il n'est pas défini de prescription en termes d'erreur MTIE.



**Figure 8 – Tolérance du dérapage d'entrée (TDEV) pour l'option EEC 2**

## 9.2 Tolérance de gigue

### 9.2.1 Options EEC 1 et 2

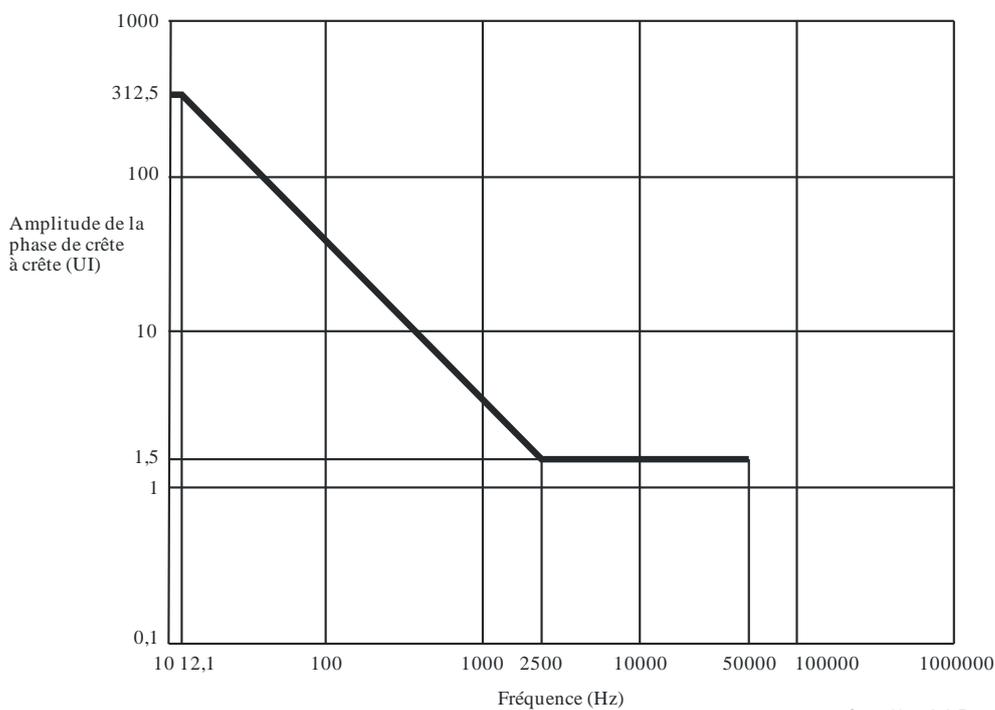
*Tolérance de gigue au niveau d'une interface Ethernet synchrone:*

La limite inférieure de la gigue d'entrée maximale admissible au niveau des interfaces Ethernet 1G pour les options EEC 1 et 2 est indiquée dans le Tableau 11 et dans la Figure 9.

**Tableau 11 – Tolérance de la gigue large bande Ethernet synchrone pour les options EEC 1 et 2**

Amplitude de la gigue de crête à crête (UI)	Fréquence f (Hz)
312,5	$10 < f \leq 12,1$
$3\,750 f^{-1}$	$12,1 < f \leq 2,5\text{ k}$
1,5	$2,5\text{ k} < f \leq 50\text{ k}$

NOTE – Les interfaces 1G comprennent les interfaces 1000BASE-KX, -SX et -LX. Les interfaces multivoies doivent faire l'objet d'un complément d'étude.



**Figure 9 – Tolérance de la gigue large bande Ethernet synchrone pour les options EEC 1 et 2**

NOTE 1 – Outre les valeurs prescrites propres à la tolérance de la gigue large bande Ethernet synchrone, les prescriptions pertinentes IEEE 802.3 relatives à la tolérance de gigue doivent être satisfaites.

NOTE 2 – La référence [IEEE 802.3] spécifie, à des fins d'essai, la tolérance de la gigue haute fréquence et les signaux d'essai émis au niveau des interfaces de trafic Ethernet au-dessus de 637 kHz.

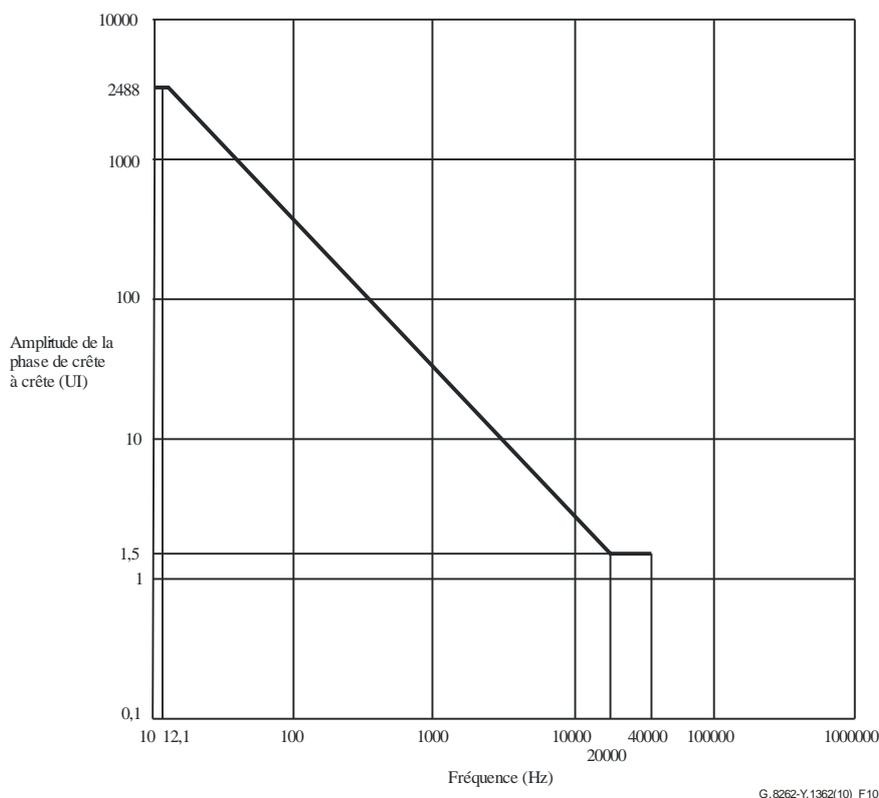
NOTE 3 – La pente au-dessus de 50 kHz est égale à 20 dB/décade. Les valeurs précises entre 50 kHz et 637 kHz doivent faire l'objet d'un complément d'étude, la méthode de mesure de la référence [IEEE 802.3] et celle de l'UIT-T n'étant pas entièrement semblables. Des informations sur la spécification de la gigue de l'UIT sont données à l'Appendice I de la référence [UIT-T G.825].

La limite inférieure de la gigue d'entrée maximale admissible au niveau des interfaces Ethernet 10G pour les options EEC 1 et 2 est indiquée dans le Tableau 12 et dans la Figure 10.

**Tableau 12 – Tolérance de la gigue large bande Ethernet synchrone au niveau des interfaces 10 G pour les options EEC 1 et 2**

Amplitude de la gigue de crête à crête (UI)	Fréquence f (Hz)
2 488	$10 < f \leq 12,1$
$30\,000 f^{-1}$	$12,1 < f \leq 20\,k$
1,5	$20\,k < f \leq 40\,k$

NOTE – Les interfaces 10G comprennent les interfaces 10GBASE-SR/LR/ER, 10GBASE-LRM et 10GBASE-SW/LW/EW et les interfaces multivoies constituées de voies 10G, comprenant les interfaces 40GBASE-KR4/CR4/SR4/LR4 et 100GBASE-CR10/SR10.



**Figure 10 – Tolérance de la gigue large bande Ethernet synchrone au niveau des interfaces 10 G pour les options EEC 1 et 2**

NOTE 4 – Outre les valeurs prescrites propres à la tolérance de la gigue large bande Ethernet synchrone, les prescriptions pertinentes IEEE 802.3 relatives à la tolérance de gigue doivent être satisfaites.

NOTE 5 – La méthode de mesure de la référence [IEEE 802.3] et celle de l'UIT-T ne sont pas entièrement semblables. Des informations sur la spécification de la gigue de l'UIT sont données à l'Appendice I de la référence [UIT-T G.825].

La limite inférieure de la gigue d'entrée maximale admissible au niveau des interfaces Ethernet 25G pour les options EEC 1 et 2 est indiquée dans le Tableau 13.

**Tableau 13 – Tolérance de la gigue large bande Ethernet synchrone au niveau des interfaces 25 G pour les options EEC 1 et 2**

Amplitude de la gigue de crête à crête (UI)	Fréquence f (Hz)
6 445	$10 < f \leq 11,17$
$72\,000 f^{-1}$	$11,17 < f \leq 20\,k$
3,6	$20\,k < f \leq 100\,k$
NOTE – Les interfaces 25G comprennent les interfaces multivoies constituées des voies 25G, comprenant les interfaces 100GBASE-LR4/ER4.	

*Tolérance de gigue au niveau des interfaces à 2 048 kHz, 2 048 kbit/s, 1 544 kbit/s, et des interfaces STM-N:*

La limite inférieure de la gigue d'entrée maximale admissible pour les signaux à 2 048 kHz et 2 048 kbit/s est définie pour l'option 1 au § 8.2 de la référence [UIT-T G.813].

La limite inférieure de la gigue maximale admissible pour la synchronisation externe à 1 544 kbit/s est définie pour l'option 2 au § 8.2 de la référence [UIT-T G.813].

La limite inférieure de la gigue d'entrée maximale admissible pour les interfaces STM-N est définie dans la référence [UIT-T G.825].

## 10 Transfert de bruit

La caractéristique de transfert du bruit de l'horloge EEC définit les propriétés de celle-ci pour ce qui est du transfert des excursions de la phase d'entrée par rapport à la phase de la porteuse. On peut considérer l'horloge EEC comme un filtre passe-bas pour les différences entre la phase d'entrée réelle et la phase d'entrée idéale de la référence. Les largeurs de bande minimales et maximales admises pour le comportement de ce filtre passe-bas, fondées sur les considérations données à l'Appendice II de la référence [UIT-T G.813], sont indiquées ci-après.

Dans la bande passante, le gain de phase de l'horloge EEC devrait être inférieur à 0,2 dB (2,3%). Ce qui précède s'applique à un modèle linéaire d'horloge EEC. Ce modèle ne devrait toutefois pas restreindre les mises en œuvre.

### 10.1 Option EEC 1

La largeur de bande minimale prescrite pour une horloge EEC est égale à 1 Hz, tandis que sa largeur de bande maximale prescrite est égale à 10 Hz.

### 10.2 Option EEC 2

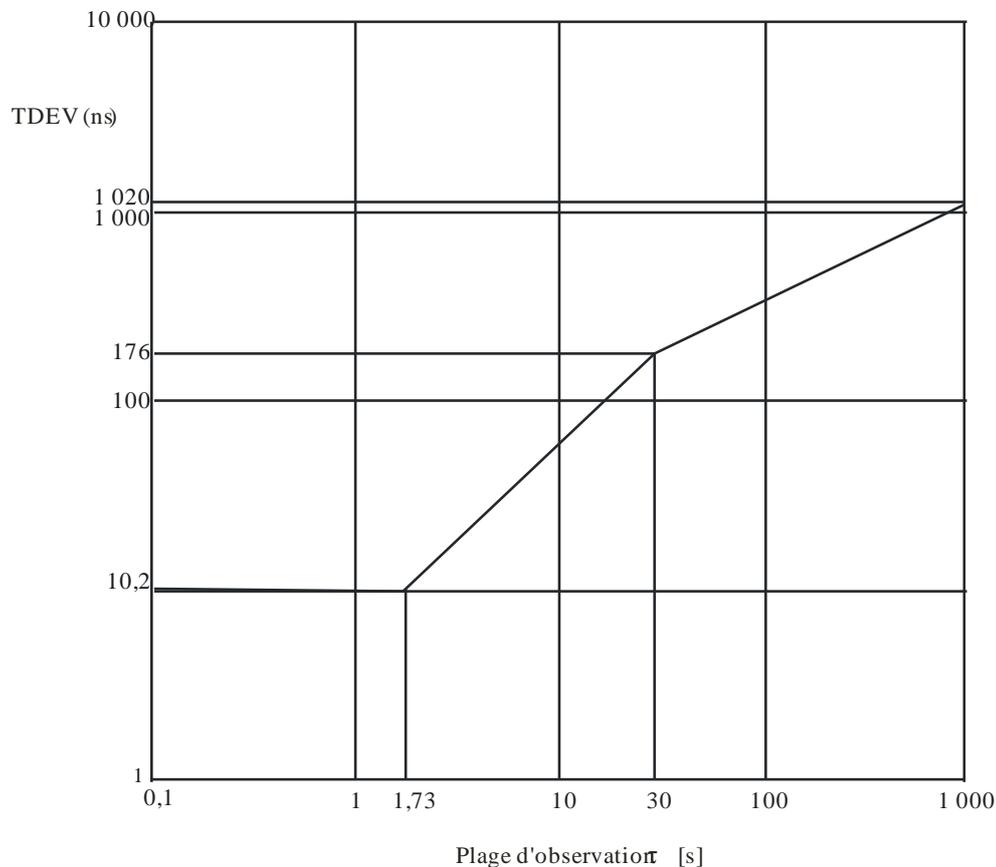
Lorsque l'Ethernet synchrone ou les éléments de réseau SDH sont rapportés à un signal de synchronisation Ethernet synchrone ou STM-N qui satisfait au gabarit TDEV d'entrée de la Figure 8 et du Tableau 10, ils doivent émettre des signaux de sortie qui satisfont aux limites TDEV de sortie indiquées dans le Tableau 14.

**Tableau 14 – Transfert de dérapage pour l'option EEC 2 (dérapage de sortie maximal lorsque le dérapage d'entrée satisfait aux valeurs indiquées dans le Tableau 10)**

Limite TDEV [ns]	Plage d'observation $\tau$ [s]
10,2	$0,1 < \tau \leq 1,73$
$5,88 \tau$	$1,73 < \tau \leq 30$
$32,26 \tau^{0,5}$	$30 < \tau \leq 1\,000$

Les valeurs prescrites qui en résultent sont données par le gabarit représenté dans la Figure 11. L'objet de ces gabarits est de faire en sorte que la largeur de bande maximale d'une horloge EEC est de 0,1 Hz. Ces gabarits ne devraient pas être utilisés pour vérifier le plafonnement du gain de phase. Il n'existe pas de prescription relative à une largeur de bande minimale.

L'écart TDEV est mesuré à l'aide de l'équivalent d'un filtre de mesure passe-bas du premier ordre à 10 Hz, le temps maximal d'échantillonnage  $\tau_0$  étant de 1/30 secondes. La durée de mesure minimale de l'écart TDEV est égale à douze fois la durée d'intégration ( $T = 12\tau$ ).



**Figure 11 – Transfert de dérapage pour l'option EEC 2 (dérapage de sortie maximal lorsque le dérapage d'entrée satisfait à la Figure 8)**

NOTE – Les valeurs de ce gabarit de transfert sont supérieures de 2% à celles dans la bande passante pour le gabarit représenté dans la Figure 8.

Les gabarits représentés dans les Figures 8 et 11 sont employés pour vérifier la tolérance de dérapage et mesurer le transfert TDEV respectivement. Ils ne correspondent pas aux limites de dérapage dans le réseau, qui doivent être satisfaites dans le cadre de la prescription relative à l'accumulation du dérapage de la charge utile. Dans la pratique, cela n'occasionnera pas de perte de synchronisation au niveau de l'horloge EEC, parce que la limite de la tolérance de dérapage dans le réseau dans la Figure 11 est dans la bande passante de l'horloge destinée à l'option EEC 2. Mais cela conduira à une accumulation de dérapage plus élevée.

## 11 Réponse aux transitoires et qualité de fonctionnement en mode de maintien

Les prescriptions du présent paragraphe s'appliquent à des situations dans lesquelles le signal entrant est altéré par des perturbations ou des défaillances de transmission (par exemple, de brèves interruptions, la commutation entre différents signaux de synchronisation, la perte de référence, etc.) qui conduisent à des transitoires de phase à la sortie des horloges EEC. Le signal doit pouvoir résister aux perturbations et ainsi éviter les défauts ou les défaillances de transmission. Les défaillances de

transmission et les perturbations sont des sollicitations courantes dans l'environnement de transmission.

Il est recommandé que tous les mouvements de phase à la sortie de l'horloge EEC respectent les niveaux indiqués dans les paragraphes suivants.

Les mesures de l'erreur MTIE dans le cas d'horloges qui relèvent de l'option 2 sont effectuées au moyen de l'équivalent d'un filtre de mesure passe-bas du premier ordre à 100 Hz.

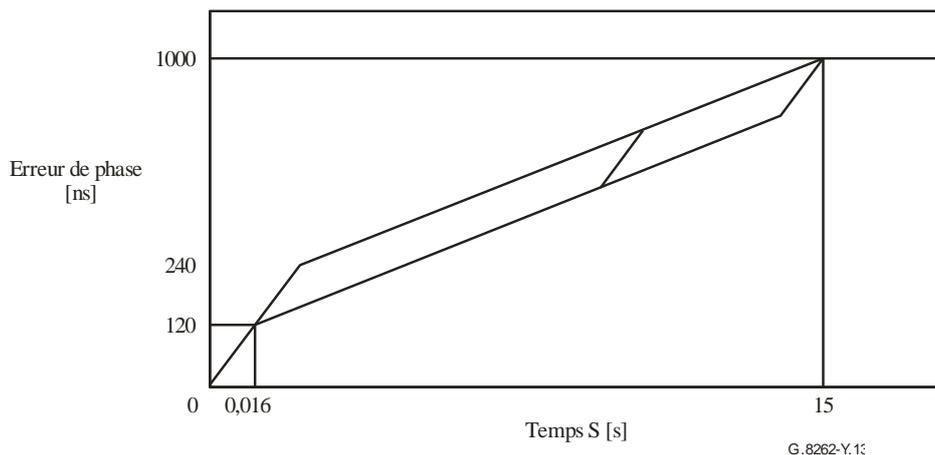
## 11.1 Réponse aux transitoires de phase de courte durée

### 11.1.1 Option EEC 1

Cette prescription concerne la qualité de fonctionnement de l'horloge dans les cas de la perte du signal de référence entrant (choisi), en raison d'une défaillance dans le conduit de référence, et de la disponibilité, simultanément ou peu de temps après la détection de la défaillance (par exemple s'il y a un rétablissement autonome), d'un deuxième signal de référence entrant, calé sur la même horloge de référence. Dans ces cas, la référence est perdue pendant 15 secondes au plus. La variation de la phase à la sortie, par rapport à la référence d'entrée avant qu'elle ne soit perdue, est limitée par les prescriptions ci-après:

L'erreur de phase ne devrait pas dépasser  $\Delta t + 5 \times 10^{-8} \times S$  secondes sur une durée  $S$  pouvant aller jusqu'à 15 secondes. L'intervalle  $\Delta t$  correspond aux deux sauts de phase qui peuvent se produire au cours de l'entrée en mode de maintien ou de la sortie de celui-ci, chacun ne devant pas dépasser 120 ns avec un décalage de fréquence temporaire d'au maximum 7,5 ppm.

Les valeurs prescrites qui en résultent globalement sont résumées dans la Figure 12. Cette figure décrit le mouvement de la phase dans le cas le plus défavorable, dû à une commutation d'horloge EEC de référence. Les horloges peuvent changer d'état plus rapidement qu'il n'est indiqué ici. Des informations générales sur les spécifications qui conduisent à ces valeurs prescrites sont données à l'Appendice II de la référence [UIT-T G.813].



**Figure 12 – Transitoire de phase maximal à la sortie, résultant d'une commutation de référence pour l'option EEC 1**

La Figure 12 fait apparaître deux sauts de phase dans le transitoire de commutation d'horloge. Le premier saut correspond à la réponse initiale à la perte de la source de synchronisation de référence et au passage consécutif en mode de maintien. L'amplitude de ce saut représente un décalage de fréquence inférieur à 7,5 ppm pendant une durée inférieure à 16 ms. Après 16 ms, le mouvement de la phase doit se faire en dessous de la ligne de pente égale à  $5 \times 10^{-8}$  afin de limiter l'activité du pointeur. Le second saut, qui doit se produire dans les 15 secondes après le passage en mode de maintien, correspond à la commutation vers la référence secondaire. Les mêmes valeurs sont

prescrites pour ce saut. Après le second saut, l'erreur de phase devrait rester constante et être inférieure à 1  $\mu$ s.

NOTE – L'excursion de phase à la sortie, en cas de commutation entre des références qui ne sont pas calées sur la même horloge de référence primaire (PRC), doit faire l'objet d'un complément d'étude.

Lorsque le signal de synchronisation entrant est perdu pendant plus de 15 secondes, les prescriptions du § 11.2 s'appliquent.

### 11.1.2 Option EEC 2

Au cours de la reconfiguration d'une horloge (par exemple, la commutation de référence), la sortie de l'horloge devrait satisfaire aux prescriptions en termes d'erreur MTIE mentionnées dans le § 11.4.2.

## 11.2 Réponse aux transitoires de phase de longue durée (mode de maintien)

Cette prescription limite les excursions maximales du signal de synchronisation sortant. Par ailleurs, elle restreint l'accumulation du mouvement de la phase pendant l'altération du signal entrant ou les perturbations internes.

### 11.2.1 Option EEC 1

Lorsqu'une horloge EEC perd toutes ses références, on dit qu'elle passe en mode de maintien. L'erreur de phase,  $\Delta T$ , à la sortie de l'horloge EEC par rapport à l'entrée au moment de la perte de référence ne devrait pas, sur toute durée  $S > 15$  s, dépasser la limite suivante:

$$\Delta T(S) = \left\{ (a_1 + a_2)S + 0,5bS^2 + c \right\} \quad [\text{ns}]$$

où:

$$a_1 = 50 \text{ ns/s (voir Note 1)}$$

$$a_2 = 2\,000 \text{ ns/s (voir Note 2)}$$

$$b = 1,16 \times 10^{-4} \text{ ns/s}^2 \text{ (voir Note 3)}$$

$$c = 120 \text{ ns (voir Note 4)}$$

Cette limite est soumise à un décalage de fréquence maximal de  $\pm 4,6 \times 10^{-6}$ . Le comportement sur une durée  $S < 15$  s est défini au § 11.1.

NOTE 1 – Le décalage de fréquence  $a_1$  correspond à un décalage de fréquence initial de  $5 \times 10^{-8}$  (0,05 ppm).

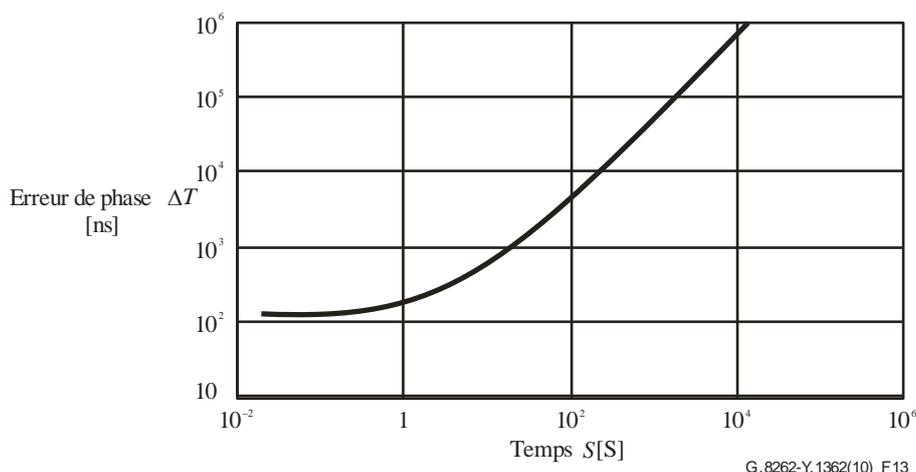
NOTE 2 – Le décalage de fréquence  $a_2$  rend compte des variations de température après le passage de l'horloge en mode de maintien et correspond à un décalage de  $2 \times 10^{-6}$  (2 ppm). S'il n'y a pas de variation de température, le terme  $a_2 S$  ne devrait pas contribuer à l'erreur de phase.

NOTE 3 – La dérive  $b$  est due au vieillissement:  $1,16 \times 10^{-4} \text{ ns/s}^2$  correspond à une dérive de fréquence de  $1 \times 10^{-8}$ /jour (0,01 ppm/jour). Cette valeur est obtenue à partir des caractéristiques types de vieillissement après un fonctionnement continu de dix 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  $c$  rend compte de tout décalage de phase supplémentaire qui peut se produire pendant la transition qui accompagne le passage en mode de maintien.

Les valeurs prescrites qui en résultent globalement à température constante (c'est-à-dire lorsque les effets de la température sont négligeables) sont résumées dans la Figure 13.

$$\Delta T(S) = \left( a_1 S + \frac{b}{2} S^2 + c \right) \quad [\text{ns}]$$



**Figure 13 – Erreur de phase admissible pour l'option EEC 1 en mode de maintien, la température étant constante**

### 11.2.2 Option EEC 2

Lorsqu'une horloge EEC perd toutes ses références, elle passe en mode de maintien. L'erreur de phase,  $\Delta T$ , à la sortie de l'horloge asservie au moment de la perte de la référence devrait, sur toute durée  $S$  exprimée en secondes, satisfaire à la formule suivante:

$$|\Delta T(S)| \leq \{a_1 + a_2\}S + 0,5bS^2 + c \quad [\text{ns}]$$

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

$$|d(\Delta T(S))/dS| \leq \{a_1 + a_2 + bS\} \quad [\text{ns/s}]$$

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

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

En appliquant les prescriptions susmentionnées à la dérivée de  $\Delta T(S)$  et à la dérivée seconde de  $\Delta T(S)$ , la durée  $S$  doit commencer après la fin d'un transitoire quelconque, associé au passage en mode de maintien. Au cours de ce transitoire, les prescriptions concernant les transitoires du § 11.4.2 s'appliquent.

NOTE 1 –  $a_1$  correspond à un décalage de fréquence initial à température constante ( $\pm 1$  K).

NOTE 2 –  $a_2$  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  $a_2S$  ne devrait pas contribuer à l'erreur de phase.

NOTE 3 –  $b$  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  $c$  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 –  $d$  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  $d$  et  $b$  soient égaux. Il convient de noter que pour certaines durées, en particulier les courtes durées, ce paramètre peut être difficile à mesurer et la valeur mesurée peut ne pas avoir de sens.

Les valeurs spécifiées admissibles pour les erreurs de phase dans le cas de l'option EEC 2 sont indiquées dans la Tableau 15.

**Tableau 15 – Spécification de la réponse aux transitoires en mode de maintien**

	<b>Option EEC 2</b>
<b>Coefficient</b>	<b>Durée <math>S &gt;</math> durée TBD</b>
$a_1$ [ns/s]	50
$a_2$ [ns/s]	300
$b$ [ns/s <sup>2</sup> ]	$4,63 \times 10^{-4}$
$c$ [ns]	1 000
$d$ [ns/s <sup>2</sup> ]	$4,63 \times 10^{-4}$
TBD: à définir	

### 11.3 Réponse en termes de phase aux interruptions du signal entrant

#### 11.3.1 Option EEC 1

Pour les interruptions de courte durée des signaux de synchronisation entrants, qui n'entraînent pas de commutation de référence, la variation de la phase de sortie ne devrait pas dépasser 120 ns, avec un décalage de fréquence maximal de 7,5 ppm sur une durée maximale de 16 ms.

#### 11.3.2 Option EEC 2

Cette question doit faire l'objet d'un complément d'étude.

### 11.4 Discontinuité de la phase

#### 11.4.1 Option EEC 1

En cas d'essais internes ou d'autres désordres internes peu fréquents (à l'exception des pannes importantes de matériel, par exemple celles qui conduiraient à la commutation de protection de l'équipement des horloges) à l'intérieur de l'horloge d'équipement Ethernet synchrone, les conditions suivantes devraient être remplies:

- la variation de phase sur toute durée  $S$  (ms) allant jusqu'à 16 ms ne devrait pas dépasser  $7,5S$  ns;
- la variation de phase sur toute durée  $S$  comprise entre 16 ms et 2,4 s ne devrait pas dépasser 120 ns;
- pour des durées supérieures à 2,4 s, la variation de phase sur chacun des intervalles de 2,4 s ne devrait pas dépasser 120 ns avec un décalage temporaire qui ne dépasse pas 7,5 ppm, la variation totale pouvant atteindre 1  $\mu$ s.

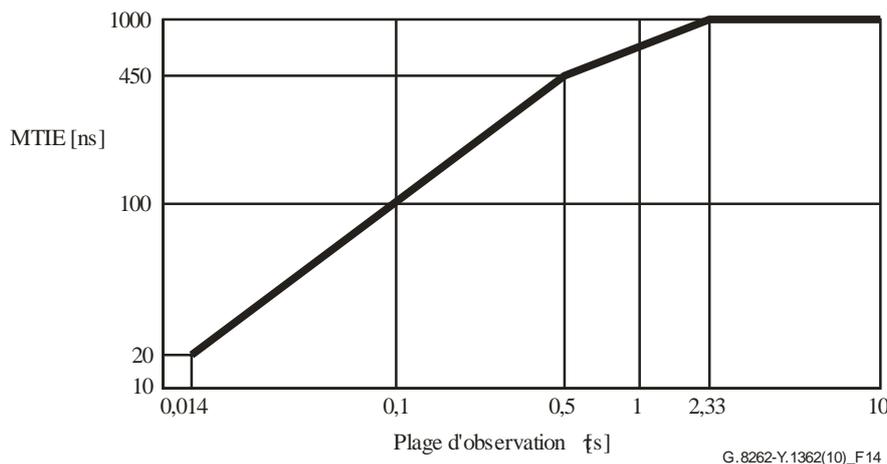
#### 11.4.2 Option EEC 2

En cas de reconfigurations ou d'essais internes peu fréquents à l'intérieur de l'horloge asservie, le transitoire de phase à la sortie pour l'option EEC 2 devrait satisfaire aux valeurs MTIE spécifiées dans le Tableau 16.

**Tableau 16 – L'erreur MTIE à la sortie due à la commutation de référence ou à la reconfiguration pour l'option EEC 2**

<b>Limite MTIE [ns]</b>	<b>Plage d'observation <math>\tau</math> [s]</b>
Non spécifiée	$\tau \leq 0,014$
$7,6 + 885 \tau$	$0,014 < \tau \leq 0,5$
$300 + 300 \tau$	$0,5 < \tau \leq 2,33$
1 000	$2,33 < \tau$

Les valeurs MTIE prescrites sont représentées dans la Figure 14.



**Figure 14 – L'erreur MTIE à la sortie due à la commutation de référence ou à la reconfiguration pour l'option EEC 2**

## 12 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 EEC est spécifiée, non pas en ces points de référence internes, mais au niveau des interfaces externes de l'équipement.

Les interfaces de synchronisation d'entrée et de sortie pour l'équipement Ethernet qui peut contenir une horloge EEC 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 STM-N de trafic (pour les éléments de réseau hybrides);
- interfaces à 64 kHz conformes à la référence [UIT-T G.703];
- interfaces externes à 6 312 kHz conformes à la référence [UIT-T G.703];
- interfaces Ethernet synchrones.

Toutes les interfaces susmentionnées ne doivent pas nécessairement être employées dans tous les équipements. Ces interfaces devraient être conformes aux prescriptions relatives à la gigue et au dérapage définies dans la présente Recommandation.

Les interfaces Ethernet en cuivre admettent le mode semi-duplex et les collisions sur une ligne qui étouffent les signaux et détruisent la synchronisation. En raison de cela, les interfaces Ethernet synchrones ne doivent être employées qu'en mode duplex intégral et doivent disposer d'un flux binaire continu.

NOTE – Pour assurer l'interopérabilité avec les équipements de réseau existants, les interfaces à l'entrée et à la sortie des horloges de réseau externes peuvent, à titre facultatif, prendre en charge les messages d'état de synchronisation (SSM).

### 12.1 Interfaces de synchronisation externes

La synchronisation de l'équipement Ethernet nécessite la prise en charge d'une gamme d'interfaces de synchronisation externes différentes, qui permettent d'obtenir la synchronisation, en provenance d'une horloge SSU/BITS conforme à la référence [UIT-T G.812], en provenance d'un signal émis par une

horloge d'équipement SDH (SEC) conforme à la référence [UIT-T G.813] ou en provenance d'un autre équipement Ethernet synchrone spécifié dans la présente Recommandation.

Les objectifs principaux sont les suivants:

- assurer le passage aisé des architectures existantes d'acheminement de la synchronisation, fondées sur la transmission à hiérarchie numérique synchrone (SDH), aux architectures futures de synchronisation, fondées sur le transport Ethernet à l'échelle de l'exploitant avec une horloge EEC intégrée;
- faire en sorte que la synchronisation (fréquence) soit acheminée au niveau de la couche physique où elle n'est pas soumise aux dégradations de charge.

Le Tableau 17 mentionne les types d'interfaces externes.

**Tableau 17 – Types d'interfaces externes**

<b>Types d'interfaces externes</b>	<b>Prise en charge</b>
Interfaces conformes à la référence [UIT-T G.703] à 2,048 MHz/2,048 Mbit/s et à 1,544 MHz/1,544 Mbit/s	Prise en charge de l'architecture ancienne/initiale en matière de fréquence NOTE – Assurer la transition d'une architecture ancienne fondée sur la hiérarchie SDH à une architecture Ethernet synchrone initiale à l'échelle de l'exploitant en réutilisant la fonctionnalité des unités de synchronisation (SSU) existantes.
Ethernet synchrone (débit à définir)	Prescription initiale relative à la fréquence.

D'autres types d'interfaces externes doivent faire l'objet d'un complément d'étude.

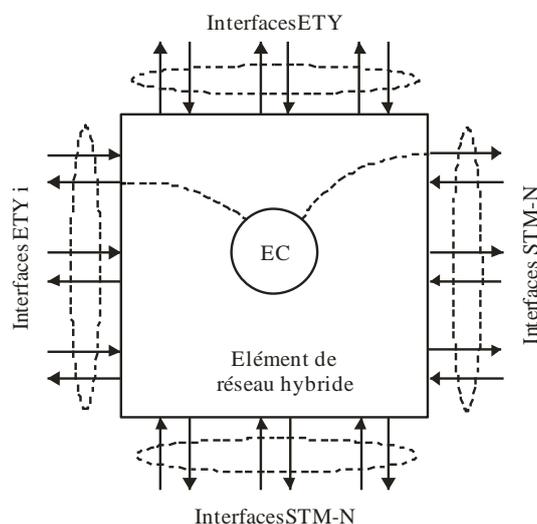
NOTE – La prise en charge par l'Ethernet synchrone du transfert dans le temps (tant de la fréquence que du temps) doit faire l'objet d'un complément d'étude.

## Appendice I

### Eléments de réseau hybrides employant les interfaces STM-N et Ethernet (ETY)

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

Les horloges EEC sont compatibles avec l'utilisation d'éléments de réseau (NE) hybrides, quel que soit l'emplacement de ceux-ci dans la chaîne de synchronisation, comme indiqué à l'Appendice XII de la référence [UIT-T G.8261]. La Figure I.1 représente un élément de réseau hybride et les relations temporelles entre l'horloge d'équipement (EC) et les interfaces STM-N et ETY.



G.8262-Y.1362(10)\_Fl.1

**Figure I.1 – Elément de réseau hybride employant les interfaces STM-N et Ethernet (ETY)**

Pour les éléments de réseau hybrides, l'acheminement de la synchronisation peut être assuré à partir de tout type d'interface d'entrée vers tout type d'interface de sortie, comme indiqué dans le Tableau I.1.

**Tableau I.1 – Combinaison des ports d'entrée et de sortie pour l'acheminement de la synchronisation**

Synchronisation d'entrée	Synchronisation de sortie
STM-N	STM-N
STM-N	ETY
STM-N	T4
ETY	STM-N
ETY	ETY
ETY	T4
T3	STM-N
T3	ETY

L'utilisation des interfaces ETY pour l'acheminement de la synchronisation et l'utilisation des éléments de réseau hybrides ne devraient pas nécessiter de modifications des éléments de réseau SDH ou des horloges (PRC, SSU) déployés, comme par exemple l'introduction d'un nouveau code SSM pour les interfaces STM-N. Le code "0000" ne devrait pas non plus être employé.

## Appendice II

### **Relations entre les prescriptions contenues dans la présente Recommandation et d'autres Recommandations essentielles associées à la synchronisation**

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

Le présent appendice décrit les relations entre les prescriptions en matière de qualité de fonctionnement des horloges décrites dans le corps de la présente Recommandation et d'autres Recommandations essentielles concernant la synchronisation qui sont en cours d'élaboration ou ont été élaborées au titre de la Question 13 (Caractéristiques de synchronisation des réseaux et de diffusion de signaux horaires) de la Commission d'études 15 de l'UIT-T.

La présente Recommandation contient les prescriptions relatives à la qualité de fonctionnement qui s'appliquent aux horloges Ethernet synchrone. Le concept de base de l'Ethernet synchrone est décrit dans la référence [UIT-T G.8261], la première Recommandation de l'UIT-T à détailler les aspects de synchronisation des réseaux dans le cas des réseaux en mode paquet.

Si elles sont intégrées dans des éléments de réseau, les horloges décrites dans la présente Recommandation permettent l'acheminement d'un signal de synchronisation de référence du réseau par le biais de la couche physique Ethernet. La couche physique Ethernet dans ce contexte est définie dans la référence [IEEE 802.3].

Les prescriptions relatives à la qualité de fonctionnement dans la présente Recommandation sont obtenues à partir de Recommandations existantes. Les prescriptions applicables à l'option EEC 1 sont fondées sur l'horloge destinée à l'option 1 conforme à la référence [UIT-T G.813], tandis que les prescriptions applicables à l'option EEC 2 sont fondées sur l'horloge de type IV décrite dans la référence [UIT-T G.812], les deux types d'horloges étant intégrés dans un élément de réseau SDH.

Les deux types d'horloges EEC ont des qualités de fonctionnement semblables, mais sont destinées à être utilisées dans des réseaux optimisés, soit pour la hiérarchie à 2 Mbit/s (pour l'option 1), soit pour la hiérarchie à 1 544 kbit/s (pour l'option 2). Puisque les horloges EEC sont compatibles avec les horloges existantes intégrées dans des éléments de réseau SDH employés pour la diffusion de la fréquence, les pratiques couramment utilisées en ingénierie des réseaux de synchronisation ne devront pas faire l'objet de modifications.

Les réseaux de synchronisation sont en général fondés sur la diffusion de la synchronisation SDH, comme décrite dans la référence [UIT-T G.803]. La diffusion de la synchronisation peut suivre des pratiques régionales spécifiques afin de répondre aux besoins fondamentaux en ce qui concerne la qualité de fonctionnement et les limites applicables aux interfaces de réseau, indiquées, respectivement, soit dans la référence [b-UIT-T G.823] pour la hiérarchie à 2 048 kbit/s, soit dans la référence [b-UIT-T G.824] pour la hiérarchie à 1 544 kbit/s. Les deux références [b-UIT-T G.823] et [b-UIT-T G.824] sont fondées sur les objectifs fondamentaux en matière de taux de glissement décrits dans la référence [b-UIT-T G.822].

Les horloges EEC ont volontairement été spécifiées de manière à être compatibles avec les réseaux de synchronisation existants. Les horloges destinées à l'option EEC 1 peuvent être mises en place dans un réseau de diffusion de la synchronisation de la même manière exactement qu'une horloge SEC conforme à la référence [UIT-T G.813], tandis que les horloges destinées à l'option EEC 2 peuvent être mises en place comme les horloges de type IV existantes conformes à la référence [UIT-T G.812].

## Appendice III

### Liste des interfaces Ethernet applicables à l'Ethernet synchrone

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

La liste de toutes les interfaces Ethernet mentionnées dans la référence [IEEE 802.3] est contenue dans le Tableau III.1. Elle spécifie les interfaces Ethernet qui sont valables pour le fonctionnement en mode Ethernet synchrone. D'autres interfaces peuvent exister. La liste des interfaces n'est pas exhaustive et pourrait être mise à jour.

Il a été tenu compte des considérations suivantes au cours de l'établissement de la liste.

#### Interfaces CSMA/CD

La référence [IEEE 802.3] spécifie deux modes de fonctionnement: les modes semi-duplex et duplex intégral.

Les interfaces Ethernet ont initialement été développées pour un seul support que se partageaient de multiples stations terminales qui employaient le mécanisme d'accès multiple par détection de porteuse avec détection de collision (CSMA/CD). La plupart des interfaces utilisent des supports distincts (ou des porteuses distinctes) pour les communications bidirectionnelles entre deux stations terminales. L'emploi du mode de fonctionnement semi-duplex sur de tels supports bidirectionnels reliant un point à un autre sert à reproduire le comportement de l'ancien fonctionnement à support partagé. Dans tous les cas, il n'y a pas de différence en ce qui concerne le comportement dans la couche PHY entre les modes semi-duplex et duplex intégral. La fonctionnalité semi-duplex, commandée au niveau de la sous-couche commande d'accès au support (MAC), ne peut avoir d'incidence que sur le transport des paquets au niveau de la couche 2 et au-dessus.

Les interfaces intitulées CSMA/CD peuvent être employées, aux fins de l'Ethernet synchrone, dans tous les cas où le support relie un point à un autre.

#### Signalisation permanente

L'interface doit acheminer un signal en permanence.

Ce signal doit être codé de manière à assurer que les transitions permettent de récupérer le signal de synchronisation. Cela se fait au moyen du codage 64B/66B au niveau de certaines interfaces 10G, du codage DSQ-128 (2 × 2 paires, PAM-16) pour les interfaces 10G en cuivre à paires torsadées (cuivre à PT), du codage 8B/10B au niveau de certaines interfaces 1G et des interfaces 10G à 4 canaux dans des fibres ou des câbles en cuivre, du codage 4D-PAM-5 pour les interfaces 1G en cuivre à paires torsadées, du codage 4B/5B pour certaines interfaces 100M, et du codage MLT-3 pour les interfaces 100M en cuivre à paires torsadées.

Toutes les couches physiques (PHY) IEEE 802.3 permettant de relier un point à un autre, qui fonctionnent au débit de 100 Mbit/s au moins, emploient la signalisation permanente.

#### Relation maître-esclave

Certaines interfaces bidirectionnelles sont conçues pour qu'un de leur côté, nommé horloge principale, joue le rôle de générateur du signal de synchronisation, et que l'autre côté joue celui d'horloge asservie, qui est contrainte de récupérer le signal de synchronisation.

Une telle configuration ne prendra en charge que l'Ethernet synchrone unidirectionnel. Ces conditions peuvent être annoncées dans le cadre de la surveillance du processus au moyen du canal de messagerie de synchronisation Ethernet (ESCM), comme décrit dans la référence [UIT-T G.8264] où sont introduites des interfaces réduites Ethernet synchrone. Pour de telles interfaces, l'administration de la station devrait imposer la résolution maître-esclave qui est définie dans le paragraphe approprié de la

référence [IEEE 802.3], conformément à l'architecture du réseau de synchronisation. L'état de l'interface réduite ESCM devrait être synchronisé avec l'état maître ou esclave.

Les interfaces 1000BASE-T et 10GBASE-T constituent deux exemples d'interface qui fonctionnent suivant la relation maître-esclave.

### **Autonégociation**

Le mécanisme d'autonégociation défini pour certains ensembles de couches physiques (PHY) est employé pour déterminer le mode de fonctionnement le plus élevé pris en charge mutuellement par deux partenaires au moment de l'établissement d'une liaison. L'algorithme favorisera toujours un haut débit par rapport à un débit plus faible et le duplex intégral par rapport au semi-duplex. Comme la négociation se fait au moment de l'établissement de la liaison, elle devrait être compatible avec l'Ethernet synchrone mais peut ne pas être compatible avec le plan de diffusion de la synchronisation. Il convient de noter que la négociation est une option pour certains types d'interfaces PHY et que le débit et le duplex PHY pris en charge peuvent être imposés par l'administration.

Il convient encore de noter que dans certains cas l'autonégociation pourrait intervenir en cours de fonctionnement, par exemple pendant une mise à jour. L'autonégociation ne doit avoir aucune incidence sur les fréquences et les horloges compatibles avec l'Ethernet synchrone.

### **Bouclage physique**

Toutes les fonctionnalités de bouclage physique, spécifiées pour les liaisons en mode duplex intégral, qui interrompent la liaison dans le but de procéder à un essai/à une vérification "en service" ne sont pas compatibles avec l'Ethernet synchrone. Elles ne devraient donc être admises que pendant l'établissement d'une liaison.

### **Point à multipoint**

Certaines interfaces PHY sont conçues pour un fonctionnement de point à multipoint sur les réseaux optiques passifs. Ces liaisons emploient une signalisation intermittente dans la direction montante, mais elles peuvent convenir à l'Ethernet synchrone unidirectionnel.

### **Divers**

Certains types d'interfaces PHY plus anciens sont rarement employés et ne doivent pas être pris en compte, par exemple les deux types d'interfaces PHY qui sont définis pour être utilisés sur une ligne d'abonné numérique (DSL).

### **Questions de mises en œuvre**

Certaines interfaces transmettent les signaux par le biais de câbles ou de fibres parallèles. Ces interfaces emploient, en tant que source, un signal de synchronisation pour toutes les voies physiques, mais le signal de synchronisation récupéré (tout comme le point de référence pour l'horodatage) peut varier selon la définition du fonctionnement multivoie. Il n'est pas clair à ce stade si une définition plus précise sera nécessaire pour le fonctionnement de l'Ethernet synchrone par le biais de ces interfaces.

Sur la base des considérations ci-dessus, on a établi le Tableau III.1 et on y a énuméré les interfaces PHY spécifiées dans la référence [IEEE 802.3] en indiquant celles qui sont susceptibles d'être compatibles avec l'Ethernet synchrone, celles qui ne le sont pas et celles qui peuvent être unidirectionnelles seulement.

**Tableau III.1 – Liste des interfaces Ethernet admissibles pour l’Ethernet synchrone**

<b>PHY</b>	<b>Description</b>	<b>§ de la réf. [IEEE 802.3]</b>	<b>Codage</b>	<b>Convenant à l’Ethernet synchrone</b>
10BASE2	Coaxial à 10 Mbit/s	10	Manchester, intermittent	Non
<i>10BASE5</i>	<i>Coaxial à 10 Mbit/s</i>	8	<i>Manchester, intermittent</i>	<i>Non (Note 1)</i>
10BASE-F	Fibre à 10 Mbit/s	15	NRZ, intermittent	Non
<i>10BASE-FP</i>	<i>Fibre, en étoile, à 10 Mbit/s</i>	16	<i>NRZ, intermittent</i>	<i>Non (Note 1)</i>
10BASE-T	Cuivre à PT à 10 Mbit/s	14	Manchester, intermittent	Non
100BASE-BX10	Fibre bidi à 100 Mbit/s	58, 66	4B/5B	Oui
100BASE-FX	Fibre à 100 Mbit/s	24, 26	4B/5B	Oui
100BASE-LX10	Fibre à 100 Mbit/s	58, 66	4B/5B	Oui
<i>100BASE-T2</i>	<i>Cuivre à PT à 100 Mbit/s</i>	32	<i>PAM-5</i>	<i>Non (Note 1)</i>
<i>100BASE-T4</i>	<i>Cuivre à PT à 100 Mbit/s</i>	23	<i>8B6T</i>	<i>Non (Note 1)</i>
100BASE-TX	Cuivre à PT à 100 Mbit/s	24, 25	MLT-3	Oui
1000BASE-BX10	Fibre bidi à 1 Gbit/s	59, 66	8B/10B	Oui
1000BASE-CX	Axial jumelé à 1 Gbit/s	39	8B/10B	Oui
1000BASE-KX	Carte fond de panier à 1 Gbit/s	70	8B/10B	Oui
1000BASE-LX	Fibre à 1 Gbit/s	38	8B/10B	Oui
1000BASE-PX	PON à 1 Gbit/s PON	38	8B/10B	Unidirectionnel
1000BASE-SX	Fibre à 1 Gbit/s	38	8B/10B	Oui
1000BASE-T	Cuivre à PT à 1 Gbit/s	40	4D-PAM5	Unidirectionnel (Note 2)
<i>10BROAD36</i>	<i>Coaxial à 10 Mbit/s</i>	<i>11</i>	<i>BPSK</i>	<i>Non (Note 1)</i>
10GBASE-CX4	Axial jumelé 4x à 10 Gbit/s	54	8B/10B	Oui
10GBASE-ER	Fibre à 10 Gbit/s	49, 52	64B/66B	Oui
10GBASE-EW	Fibre à 10 Gbit/s	50, 52	64B/66B	Oui
10GBASE-KR	Carte fond de panier à 10 Gbit/s	72	64B/66B	Oui
10GBASE-KX4	Carte fond de panier 4x à 10 Gbit/s	71	8B/10B	Oui
10GBASE-LR	Fibre à 10 Gbit/s	49, 52	64B/66B	Oui
10GBASE-LRM	Fibre à 10 Gbit/s	68	64B/66B	Oui
10GBASE-LW	Fibre à 10 Gbit/s	50, 52	64B/66B	Oui

**Tableau III.1 – Liste des interfaces Ethernet admissibles pour l'Ethernet synchrone**

<b>PHY</b>	<b>Description</b>	<b>§ de la réf. [IEEE 802.3]</b>	<b>Codage</b>	<b>Convenant à l'Ethernet synchrone</b>
10GBASE-LX4	Fibre 4λ à 10 Gbit/s	50, 52	8B/10B	Oui
10GBASE-SR	Fibre à 10 Gbit/s	49, 52	64B/66B	Oui
10GBASE-SW	Fibre à 10 Gbit/s	50, 52	64B/66B	Oui
10GBASE-T	Cuivre à PT à 10 Gbit/s	55	DSQ-128	Oui (Note 3)
10PASS-TS	DSL à > 10 Mbit/s	61, 62	DMT	Non
<i>1BASE-5</i>	<i>Cuivre à PT à 1 Mbit/s</i>	<i>12</i>	<i>Manchester</i>	<i>Non (Note 1)</i>
2BASE-TL	DSL à > 2 Mbit/s	61, 63	PAM	Non
10/1GBASE-PR	PON à 10 Gbit/s/1 Gbit/s	76	64B/66B/8B/10B	Unidirectionnel
10GBASE-PR	PON à 10 Gbit/s PON	76	64B/66B	Unidirectionnel
40GBASE-KR4	Carte fond de panier 4x à 40 Gbit/s	84	64B/66B	Oui
40GBASE-CR4	Axial jumelé 4x à 40 Gbit/s	85	64B/66B	Oui
40GBASE-SR4	Fibre 4x à 40 Gbit/s	86	64B/66B	Oui
40GBASE-LR4	Fibre 4λ à 40 Gbit/s	87	64B/66B	Oui
100GBASE-CR10	Axial jumelé 10x à 100 Gbit/s	85	64B/66B	Oui
100GBASE-SR10	Fibre 10x à 100 Gbit/s	86	64B/66B	Oui
100GBASE-LR4	Fibre 4λ à 100 Gbit/s	88	64B/66B	Oui
100GBASE-ER4	Fibre 4λ à 100 Gbit/s	88	64B/66B	Oui

NOTE 1 – Les lignes (en caractères italiques) sont obsolètes.  
 NOTE 2 – Le transfert de bruit n'est pas mesuré sur une interface à synchronisation en boucle.  
 NOTE 3 – Les interfaces 10GBASE-T peuvent prendre en charge une synchronisation à deux horloges principales ou à une horloge principale et une horloge asservie (c'est-à-dire, l'Ethernet synchrone unidirectionnel).

## Appendice IV

### Considérations associées à l'Ethernet synchrone pour les interfaces 1000BASE-T et 10GBASE-T

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

Dans le cadre de l'Ethernet synchrone, les paramètres de synchronisation des éléments de réseau qui sont pertinents (par exemple, la liaison choisie comme référence de synchronisation possible, la priorité) doivent être configurés conformément au plan de synchronisation du réseau.

L'analyse suivante est axée sur les interfaces 1000BASE-T et 10GBASE-T, parce que pour ces interfaces la direction de la synchronisation pourrait ne plus être compatible avec le plan de synchronisation du réseau en raison de la configuration de la relation maître-esclave, définie dans la référence [IEEE 802.3].

NOTE – Ce qui suit s'applique aux interfaces unidirectionnelles (du point de vue de la synchronisation). L'application de règles semblables aux liaisons dans un anneau où la chaîne de synchronisation pourrait devoir être inversée doit faire l'objet d'un complément d'étude.

La convention suivante est employée ci-après:

- Horloge principale/horloge asservie: état maître ou esclave IEEE 802.3.
- Synchronisation principale/synchronisation asservie: état maître ou esclave de la chaîne de synchronisation UIT-T G.8264.

Afin de pouvoir effectuer un réglage approprié de l'Ethernet synchrone sur les liaisons 1000BASE-T et 10GBASE-T, la couche PHY Ethernet devrait être configurée, soit au moyen d'une configuration manuelle, soit par le biais d'une autonégociation.

Si la configuration manuelle est employée, l'opérateur doit prendre soin d'effectuer correctement le réglage maître-esclave de la synchronisation des ports PHY, conformément au plan de synchronisation du réseau, de manière que les candidats éligibles à la synchronisation asservie soient des horloges asservies et que les ports de synchronisation principale soient des horloges principales. Si la configuration manuelle n'est pas bien effectuée, elle peut conduire à une défaillance et donc à la perte de la relation entre le trafic et l'équipement.

A titre d'exemple, si par erreur les deux extrémités sont contraintes d'être des maîtres, la configuration résultante sera défaillante (voir le Tableau 40-5 – "1000BASE-T MASTER-SLAVE configuration resolution table" de la référence [IEEE 802.3]).

Si l'autonégociation est employée, les problèmes potentiels susmentionnés ne se posent pas grâce aux éléments de réseau, ce qui évite qu'une liaison devienne hors d'usage.

NOTE – Dans ce cas, même si les ports PHY ne sont pas configurés suivant le plan de synchronisation, l'autonégociation peut échouer à obtenir une synchronisation de réseau opérationnelle (aucune indication de cette anomalie n'étant fournie) sans que cela compromette la possibilité de recevoir le trafic Ethernet opérationnel, et une correction du réglage des ports PHY sera ultérieurement possible.

Une séquence possible d'étapes à suivre lors de l'autonégociation est décrite ci-après.

NOTE – Il est supposé que ces interfaces Ethernet synchrone sont configurées de manière à être en mode de fonctionnement synchrone:

- 1) Tous les ports 1000BASE-T et 10GBASE-T doivent admettre l'autonégociation.

2) L'autonégociation est initiée:

- Dans le cas des interfaces 1000BASE-T, tous les ports doivent être configurés de manière que le Bit 9.12 = 0 (autonégociation – non contrainte). Si des ports sont inclus dans le plan de synchronisation du réseau, le port devant jouer le rôle de port de synchronisation principal doit être configuré de manière que le Bit 9.10 = 1 (Tableau 40-3 de la référence [IEEE 802.3]) et le port devant jouer le rôle de port de synchronisation asservi doit être configuré de manière que le Bit 9.10 = 0. En l'absence de détails sur le plan de synchronisation du réseau, les ports devraient être configurés de manière que le Bit 9.10 = 1. Cette configuration est conforme au Tableau 40-5 de la référence [IEEE 802.3] ("The device with the higher SEED value is configured as MASTER, otherwise SLAVE" (Le dispositif ayant la valeur de DÉPART la plus élevée est configuré comme MAÎTRE, dans le cas contraire il est configuré comme ESCLAVE)). Lorsque des détails concernant le plan de synchronisation du réseau sont disponibles, le fait de disposer de ports dont l'état par défaut préféré est le Bit 9.10 = 1 permet de modifier le Bit 9.10 seulement du côté esclave de la synchronisation, habituellement dans le conduit de données descendant (voir le point 4 ci-dessous).

NOTE – Le fait de disposer de ports dont l'état par défaut préféré est le Bit 9.10 = 0, nécessitant la modification du Bit 9.10 seulement du côté maître de la synchronisation, donnerait un résultat semblable. La présente Recommandation suggère une configuration par défaut pour une interopérabilité plus aisée.

- Dans le cas des interfaces 10GBASE-T, tous les ports doivent être configurés de manière que le Bit U11 = 0 (voir le Tableau 55-11 de la référence [IEEE 802.3]). Si des ports sont inclus dans le plan de synchronisation du réseau, le port devant jouer le rôle de port de synchronisation principal doit être configuré de manière que le Bit U13 = 1 (dispositif multiport, voir le Tableau 55-11 de la référence [IEEE 802.3]) et le port devant jouer le rôle de port de synchronisation asservi doit être configuré de manière que le Bit U13 = 0 (dispositif à port unique, voir le Tableau 55-11 de la référence [IEEE 802.3]). En l'absence de détails sur le plan de synchronisation de réseau, les ports devraient être configurés de manière que le Bit U13 = 1.

Lorsque des détails concernant le plan de synchronisation du réseau sont disponibles, le fait de disposer de ports dont l'état par défaut préféré est le Bit U13 = 1 permet de modifier le Bit U13 seulement du côté esclave de la synchronisation, habituellement dans le conduit de données descendant (voir le point 4 ci-dessous).

NOTE – Le fait de disposer de ports dont l'état par défaut préféré est le Bit U13 = 0, nécessitant la modification du Bit U13 seulement du côté maître de la synchronisation, donnerait un résultat semblable. La présente Recommandation suggère une configuration par défaut pour une interopérabilité plus aisée.

3) La configuration des paramètres de synchronisation du réseau dans le nœud conformément au plan de synchronisation du réseau devrait se faire et être vérifiée à l'issue de la procédure impliquant les horloges principales ou asservies des ports des interfaces 1000BASE-T ou 10GBASE-T. Les liaisons dans les nœuds qui sont des horloges asservies pourront alors être configurées comme des candidates à la synchronisation (si le plan de synchronisation du réseau l'exige).

4) Si le plan de synchronisation du réseau n'est disponible qu'à l'issue de la procédure impliquant les horloges principales ou asservies et si un port des interfaces 1000BASE-T ou 10GBASE-T n'est pas une horloge asservie, mais devrait être une candidate asservie à la synchronisation selon le plan de synchronisation du réseau ("sync slave"), ce port doit entamer un changement de direction de synchronisation (dans le cadre de la configuration du candidat à la synchronisation) au moyen des outils mentionnés dans le Tableau 40-3 (1000BASE-T) et dans le Tableau 55-11 (10GBASE-T) de la référence [IEEE 802.3]. En particulier:

- dans le cas d'une interface 1000BASE-T, pour ce port, le Bit 9.10 = 0;
- dans le cas d'une interface 10GBASE-T, pour ce port, le Bit U13 = 0.

NOTE 1 – Toute modification des paramètres pour l'autonégociation IEEE 802.3 entraînerait une réinitialisation de l'interface, conduisant à une défaillance de la liaison pendant un certain temps (pouvant aller jusqu'à quelques secondes).

NOTE 2 – Lorsque ces étapes ne sont pas suivies comme il convient (si par exemple certains nœuds ont été configurés manuellement), une alarme spécifique pourrait être requise afin d'informer l'opérateur qu'il doit prendre les mesures nécessaires.

## Appendice V

### Considérations relatives à la mesure du transfert de bruit dans le cas des horloges destinées à l'option EEC 2

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

Le transfert de bruit d'une horloge EEC se comporte généralement comme un système de deuxième ordre. Les principaux paramètres qui ont une incidence sur l'accumulation du dérapage dans le réseau sont la largeur de bande du transfert et le gain de crête admissible.

Une méthode courante de mesure du transfert de bruit dans le cas des réseaux destinés à l'option 2 utilise la mesure de l'écart TDEV. Puisque la tolérance du bruit d'une horloge est mesurée à l'aide d'un signal qui satisfait aux limites du réseau en ce qui concerne l'écart TDEV, la mesure de l'écart TDEV de sortie donnera une indication sur le filtrage effectué par l'horloge. Il convient d'examiner comment tenir compte du gain de crête. Dans le cas de l'option EEC 2, l'écart TDEV de sortie est augmenté d'environ 2% pour rendre compte du gain approprié.

L'écart TDEV de sortie ne doit pas dépasser le gabarit représenté dans la Figure 11 lorsque le signal de référence est au niveau de bruit indiqué par le gabarit de tolérance TDEV, qui est représenté dans la Figure 8 de la présente Recommandation.

La largeur de bande de l'horloge peut être estimée au moyen du point de rupture observé au cours de plages d'observation de 3 secondes. Des détails sur la relation approchée entre la largeur de bande de l'horloge et l'écart TDEV sont donnés à l'Appendice I de la référence [UIT-T G.812].

Il convient de noter, conformément à la référence [b-UIT-T O.174], que des sources supplémentaires d'erreurs de mesure peuvent devoir être examinées, lors de l'emploi de cette méthode, pour vérifier les caractéristiques de transfert. Conformément à la référence [b-UIT-T O.174], la précision en matière de génération de bruit TDEV de l'équipement de mesure ne doit être que de 20%. En raison de cela, l'amplitude du bruit doit être calibrée soigneusement avant la mesure de la fonction de transfert de l'horloge.

Dans certains cas, l'emploi de signaux sinusoïdaux appliqués à l'entrée et mesurés à la sortie peut permettre de déterminer les caractéristiques de transfert de l'horloge, comme spécifié pour les horloges destinées à l'option 1. Etant donné que le gain de transfert admis dans l'équipement à l'essai n'est que de 2%, il faut faire attention aux modalités de la méthode d'essai et à la précision de l'équipement de mesure. La spécification de cette méthode doit faire l'objet d'un complément d'étude.

Les valeurs du gabarit du transfert de bruit TDEV pour les horloges destinées à l'option EEC 2 sont indiquées dans le Tableau 13. L'écart TDEV qui en résulte est représenté sous la forme de gabarit dans la Figure 11.

## Bibliographie

- [b-UIT-T G.783] Recommandation UIT-T G.783 (2006), *Caractéristiques des blocs fonctionnels des équipements de la hiérarchie numérique synchrone.*
- [b-UIT-T G.801] Recommandation UIT-T G.801 (1988), *Modèles de transmission numérique.*
- [b-UIT-T G.822] Recommandation UIT-T G.822 (1988), *Objectifs de limitation du taux de glissement commandé dans une communication numérique internationale.*
- [b-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.*
- [b-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.*
- [b-UIT-T G.8010] Recommandation UIT-T G.8010/Y.1306 (2004), *Architecture des réseaux de couche Ethernet.*
- [b-UIT-T O.174] Recommandation UIT-T O.174 (2009), *Appareil de mesure de la gigue et du dérapage dans les systèmes numériques à technologie Ethernet synchrone.*
- [b-UIT-T Q.551] Recommandation UIT-T Q.551 (2002), *Caractéristiques de transmission des commutateurs numériques.*

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

<b>INFRASTRUCTURE MONDIALE DE L'INFORMATION</b>	
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
<b>ASPECTS RELATIFS AU PROTOCOLE INTERNET</b>	
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
<b>Transport</b>	<b>Y.1300–Y.1399</b>
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
<b>RÉSEAUX DE PROCHAINE GÉNÉRATION</b>	
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
<b>RÉSEAUX FUTURS</b>	<b>Y.3000–Y.3499</b>
<b>INFORMATIQUE EN NUAGE</b>	<b>Y.3500–Y.3999</b>

*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
<b>Série G</b>	<b>Systemes et supports de transmission, systemes et reseaux numériques</b>
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