UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

UIT-T G.813

(08/96)

SECTEUR DE LA NORMALISATION
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS
DE L'UIT

SÉRIE G: SYSTÈMES ET SUPPORTS DE TRANSMISSION

Systèmes de transmission numériques – Réseaux numériques – Objectifs de conception pour les réseaux numériques

Caractéristiques de rythme des horloges asservies utilisées dans les équipements SDH

Recommandation UIT-T G.813

(Antérieurement Recommandation du CCITT)

RECOMMANDATIONS UIT-T DE LA SÉRIE G

SYSTÈMES ET SUPPORTS DE TRANSMISSION

CONNEXIONS ET CIRCUITS TÉLÉPHONIQUES INTERNATIONAUX	G.100–G.199
SYSTÈMES INTERNATIONAUX ANALOGIQUES À COURANTS PORTEURS	
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	
SYSTÈMES DE TRANSMISSION NUMÉRIQUES	
EQUIPEMENTS TERMINAUX	G.700–G.799
RÉSEAUX NUMÉRIQUES	G.800–G.899
Généralités	G.800–G.809
Objectifs de conception pour les réseaux numériques	**G.810–G.819**
Objectifs de qualité et de disponibilité	G.820–G.829
Fonctions et capacités du réseau	G.830–G.839
Caractéristiques des réseaux à hiérarchie numérique synchrone	G.840–G.899
SECTIONS NUMÉRIQUES ET SYSTÈMES DE LIGNES NUMÉRIQUES	G.900–G.999

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

RECOMMANDATION UIT-T G.813

CARACTERISTIQUES DE RYTHME DES HORLOGES ASSERVIES UTILISEES DANS LES EQUIPEMENTS SDH

Résumé

La présente Recommandation présente les prescriptions minimales applicables aux dispositifs de rythme utilisés dans les équipements de réseau de synchronisation qui fonctionnent conformément aux principes régis par la hiérarchie numérique synchrone (SDH).

Source

La Recommandation UIT-T G.813, élaborée par la Commission d'études 13 (1993-1996) de l'UIT-T, a été approuvée le 27 août 1996 selon la procédure définie dans la Résolution n° 1 de la CMNT.

Mots clés

Caractéristiques de dérapage,

caractéristiques de gigue,

horloge d'équipement SDH,

objectifs relatifs aux caractéristiques des horloges,

paramètres relatifs aux caractéristiques des horloges.

AVANT-PROPOS

L'UIT (Union internationale des télécommunications) est une institution spécialisée des Nations Unies dans le domaine des télécommunications. L'UIT-T (Secteur de la normalisation des télécommunications) 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.

La Conférence mondiale de normalisation des télécommunications (CMNT), qui se réunit tous les quatre ans, détermine les thèmes d'études 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 n° 1 de la CMNT (Helsinki, 1er-12 mars 1993).

Dans certains secteurs de la technologie 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.

© UIT 1996

Droits de reproduction réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'UIT.

TABLE DES MATIÈRES

		Page
1	Domaine d'application	1
2	Références	2
3	Définitions	2
4	Abréviations	2
5	Précision de fréquence	3
6	Domaine d'accrochage, intervalle de maintien et domaine de décrochage	3
6.1	Domaine d'accrochage	3
6.2	Intervalle de maintien	3
6.3	Domaine de décrochage	4
7	Génération de bruit	4
7.1	Dérapage en mode verrouillé	4
7.2	Dérapage en mode non verrouillé	7
7.3	Gigue	7
8	Tolérance de bruit	9
8.1	Tolérance de dérapage	9
8.2	Tolérance de gigue	13
9	Transfert de bruit	14
10	Transitoires de phase et caractéristiques du mode conservatoire	16
10.1	Transitoires de phase à court terme	16
10.2	Transitoires de phase à long terme (mode conservatoire)	18
10.3	Variation de phase due à des interruptions des signaux d'entrée	20
10.4	Discontinuité de phase	21
11	Interfaces	21
Appendice I – Lignes directrices relatives à la relation existant entre limites réseau et tolérances sur le bruit d'entrée		21
I.1	Limites réseau en option 1	22
I.2	Limites réseau en option 2	22

Page

Appendice II – Considérations relatives à la largeur de bande nécessaire, à l'accumulation de bruit et à l'accumulation de dérapage de la charge utile 23

II.1 Introduction 23

II.2 Hypothèses et prescriptions applicables au réseau en option 1 23

II.2.1 Gigue acceptable dans le module STM-N selon la Recommandation G.825 23

II.2.2 Accumulation de dérapage dans une chaîne de distribution de synchronisation 23

II.2.3 Transitoires de phase dus à la restauration automatique du rythme 24

II.2.4 Conclusion 25

II.3 Hypothèses et prescriptions applicables au réseau en option 2 26

II.3.1 Prescriptions relatives à la largeur de bande des horloges 26

II.3.2 Gabarit de limite réseau pour l'écart temporel 27

II.3.3 Accumulation de dérapage dans une chaîne de distribution de synchronisation 29

Recommandation G.813

CARACTERISTIQUES DE RYTHME DES HORLOGES ASSERVIES UTILISEES DANS LES EQUIPEMENTS SDH

(Genève, 1996)

1 Domaine d'application

La présente Recommandation présente les prescriptions applicables aux dispositifs de rythme utilisés dans les équipements de réseau de synchronisation qui fonctionnent conformément aux principes régis par la hiérarchie numérique synchrone (SDH). Ces prescriptions s'appliquent aux conditions ambiantes normales spécifiées pour les équipements SDH. En fonctionnement normal, l'équipement SDH comporte une horloge asservie alignée sur une horloge de référence primaire. L'horloge d'équipement SDH (SEC) aura généralement de multiples entrées de référence. En cas de panne sur toutes les liaisons entre l'horloge principale et l'horloge asservie, l'équipement doit être capable de continuer à fonctionner (mode conservatoire) dans les limites prescrites.

L'horloge SEC fait partie de l'équipement SDH, dont les fonctions - comme la source de rythme d'équipement synchrone (SETS) - sont spécifiées dans la Recommandation G.783. Les horloges asservies utilisées dans les équipements SDH doivent respecter des prescriptions particulières afin d'être conformes aux prescriptions de gigue de réseau pour les affluents plésiochrones.

La présente Recommandation comporte deux options pour l'horloge SEC. La première option, appelée "option 1", s'applique aux réseaux SDH optimisés pour la hiérarchie à 2048 kbit/s. Pour ces réseaux, la chaîne de référence de synchronisation correspondant au cas le plus défavorable spécifiée sur la Figure 6-4/G.803 est permise. La seconde option, appelée "option 2," s'applique aux réseaux SDH optimisés pour la hiérarchie particulière à 1544 kbit/s qui comprend les débits suivants: 1544 kbit/s, 6312 kbit/s et 44 736 kbit/s. La chaîne de référence de synchronisation pour ces réseaux est à l'étude.

Les horloges d'équipements SDH doivent être conformes à toutes les prescriptions propres à une option et il ne faut pas combiner des prescriptions de l'option 1 avec des prescriptions de l'option 2. Dans les paragraphes où une seule prescription est spécifiée, celle-ci est commune aux deux options. Il est prévu d'harmoniser les options 1 et 2 dans le futur.

Il faudra prendre des précautions en cas d'interfonctionnement entre des réseaux comportant des horloges SEC basées sur l'option 1 et des réseaux comportant des horloges SEC basées sur l'option 2.

La présente Recommandation définit les prescriptions minimales applicables aux horloges situées dans les éléments de réseau SDH. Toutefois, il est possible que certains éléments de réseau SDH aient une horloge de meilleure qualité. La présente Recommandation permet un fonctionnement de réseau correct lorsque le rythme d'une horloge SEC (option 1 ou 2) est aligné sur celui d'une autre horloge SEC (de même option) ou d'une horloge de meilleure qualité. La distribution hiérarchique de rythme est recommandée pour les réseaux SDH. Il ne faut pas transmettre le rythme d'une horloge SEC en mode de fonctionnement libre ou en mode conservatoire à une horloge de meilleure qualité étant donné que l'horloge de meilleure qualité ne doit pas suivre le signal d'une horloge SEC pendant les pannes.

2 Références

Les Recommandations et autres références suivantes contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente Recommandation. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Toute Recommandation ou autre référence est sujette à révision; tous les utilisateurs de la présente Recommandation sont donc invités à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des Recommandations et autres références indiquées ci-après. Une liste des Recommandations UIT-T en vigueur est publiée régulièrement.

[1] Recommandation G.703 du CCITT (1991), *Caractéristiques physiques et électriques des jonctions*.

[2] Recommandation UIT-T G.783 (1994), *Caractéristiques des blocs fonctionnels des équipements de la hiérarchie numérique synchrone.*

[3] Recommandation UIT-T G.810 (1996), *Définitions et terminologie des réseaux de synchronisation*.

[4] Recommandation G.811 du CCITT (1988), *Conditions sur le rythme de sortie des horloges de référence primaires destinées à l'exploitation en mode plésiochrone de liaisons numériques internationales*.

[5] Recommandation G.812 du CCITT (1988), *Conditions sur le rythme de sortie des horloges asservies destinées à l'exploitation en mode plésiochrone de liaisons numériques internationales*.

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

[7] Recommandation UIT-T G.823 (1993), *Régulation de la gigue et du dérapage dans les réseaux numériques fondés sur la hiérarchie à 2048 kbit/s.*

[8] Recommandation UIT-T G.824 (1993), *Régulation de la gigue et du dérapage dans les réseaux numériques fondés sur la hiérarchie à 1544 kbit/s.*

[9] Recommandation UIT-T G.825 (1993), *Régulation de la gigue et du dérapage dans les réseaux numériques à hiérarchie numérique synchrone.*

3 Définitions

Les termes et définitions utilisés dans la présente Recommandation figurent dans la Recommandation G.810.

4 Abréviations

La présente Recommandation utilise les abréviations suivantes:

CMI signaux à inversions codées *(coded mark inversion)*

FPM scintillation de phase *(flicker phase modulation)*

MTIE erreur maximale d'intervalle temporel *(maximum time interval error)*

NE élément de réseau *(network element)*

OAM exploitation et maintenance *(operation and maintenance)*

PLL boucle à verrouillage de phase *(phase locked loop)*

PRC horloge de référence primaire *(primary reference clock)*

SDH hiérarchie numérique synchrone *(synchronous digital hierarchy)*

SEC horloge d'équipement SDH *(SDH equipment clock)*

SSM message d'état de synchronisation *(synchronization status message)*

STM module de transport synchrone *(synchronous transport module)*

TDEV écart temporel *(time deviation)*

UI intervalle unitaire *(unit interval)*

UTC temps universel coordonné *(coordinated universal time)*

WFM bruit blanc de fréquence *(white frequency modulation)*

5 Précision de fréquence

a) *Option 1*

En mode de fonctionnement libre, la précision de fréquence en sortie de l'horloge SEC doit être inférieure à $4{,}6 \times 10^{-6}$ par rapport à une référence alignée sur une horloge G.811.

NOTE – L'intervalle temporel pour cette précision nécessite un complément d'étude. Des valeurs de 1 mois et 1 année ont été proposées.

b) *Option 2*

En mode de fonctionnement libre, la précision de fréquence en sortie de l'horloge SEC doit être inférieure à 20×10^{-6}. A noter que les caractéristiques de charge utile ne sont pas garanties si l'écart fréquentiel relatif est supérieur à $4{,}6 \times 10^{-6}$. Toutefois, une fonctionnalité d'exploitation et maintenance (OAM) sera prise en charge lorsqu'une horloge SEC fonctionnera à la précision minimale.

6 Domaine d'accrochage, intervalle de maintien et domaine de décrochage

6.1 Domaine d'accrochage

a) *Option 1*

Le domaine d'accrochage minimal doit être de $\pm 4{,}6 \times 10^{-6}$, quel que soit le biais fréquentiel de l'oscillateur interne.

b) *Option 2*

Le domaine d'accrochage minimal doit être de $\pm 20 \times 10^{-6}$, quel que soit le biais fréquentiel de l'oscillateur interne.

6.2 Intervalle de maintien

a) *Option 1*

Pour l'option 1, aucun intervalle de maintien n'est requis.

b) *Option 2*

L'intervalle de maintien minimal doit être de $\pm 20 \times 10^{-6}$, quel que soit le biais fréquentiel de l'oscillateur interne.

6.3 Domaine de décrochage

a) *Option 1*

Le domaine de décrochage nécessite un complément d'étude. Un domaine minimal de ± 4,6 x 10^{-6} a été proposé.

b) *Option 2*

Le domaine de décrochage n'est pas spécifié.

7 Génération de bruit

Le bruit généré par une horloge SEC représente la quantité de bruit de phase produite à la sortie lorsque le signal de référence d'entrée est idéal ou lorsque l'horloge est en mode conservatoire. A des fins de tests pratiques, une référence appropriée suppose qu'elle est au moins 10 fois plus stable que les prescriptions de sortie. La capacité de l'horloge à limiter ce bruit est décrite par sa stabilité en fréquence. Les mesures d'erreur maximale d'intervalle temporel (MTIE) et d'écart temporel (TDEV) sont utiles pour déterminer les caractéristiques du bruit généré.

L'erreur MTIE et l'écart TDEV sont mesurés à l'aide d'un filtre équivalent de mesure passe-bas du premier ordre à 10 Hz avec un intervalle maximal d'échantillonnage τ_0 de 1/30 secondes. La période minimale de mesure de l'écart TDEV est égale à douze fois la période d'intégration ($T = 12\tau$).

7.1 Dérapage en mode verrouillé

a) *Option 1*

Lorsque l'horloge SEC est en mode de fonctionnement verrouillé, l'erreur MTIE mesurée dans la configuration d'horloges synchronisées définie sur la Figure 1a/G.810 doit avoir comme limites les valeurs indiquées dans le Tableau 1, si la température est constante (à ± 1°K près):

TABLEAU 1/G.813

Génération de dérapage (MTIE) pour l'option 1, la température étant constante

Limite MTIE	Intervalle d'observation τ
40 ns	$0,1 < \tau \leq 1$ s
$40\tau^{0,1}$ ns	$1 < \tau \leq 100$ s
$25,25\tau^{0,2}$ ns	$100 < \tau \leq 1000$ s

La prescription résultante est représentée par la courbe épaisse de la Figure 1.

Lorsqu'on tient compte des effets de la température, les valeurs de l'allocation supplémentaire pour la contribution MTIE totale d'une horloge SEC unique sont données dans le Tableau 2.

TABLEAU 2/G.813

Génération de dérapage (MTIE) supplémentaire pour l'option 1, tenant compte des effets de température

Allocation MTIE supplémentaire	Intervalle d'observation τ
$0{,}5\tau$ ns	$\tau \leq 100$ s
50 ns	$\tau > 100$ s

La prescription résultante est représentée par la courbe fine de la Figure 1.

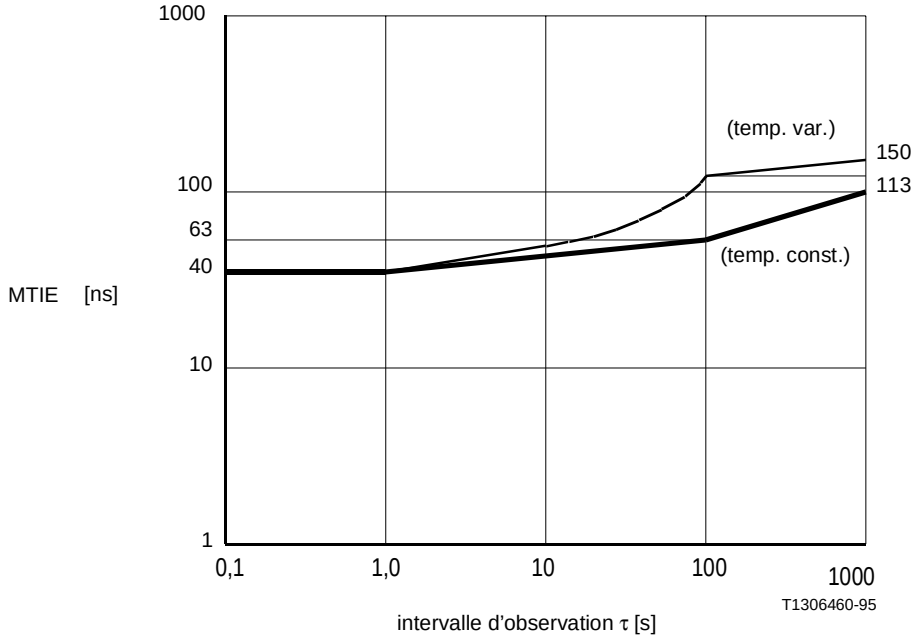


FIGURE 1/G.813

Génération de dérapage (MTIE) pour l'option 1

Lorsque l'horloge SEC est en mode de fonctionnement verrouillé, l'écart TDEV mesuré dans la configuration d'horloges synchronisées définie sur la Figure 1a/G.810 doit avoir comme limites les valeurs indiquées dans le Tableau 3, si la température est constante (à ± 1°K près):

TABLEAU 3/G.813

Génération de dérapage (TDEV) pour l'option 1, la température étant constante

Limite TDEV	Intervalle d'observation τ
3,2 ns	$0{,}1 < \tau \leq 25$ s
$0{,}64\tau^{0{,}5}$ ns	$25 < \tau \leq 100$ s
6,4 ns	$100 < \tau \leq 1000$ s

La prescription résultante est représentée sur la Figure 2.

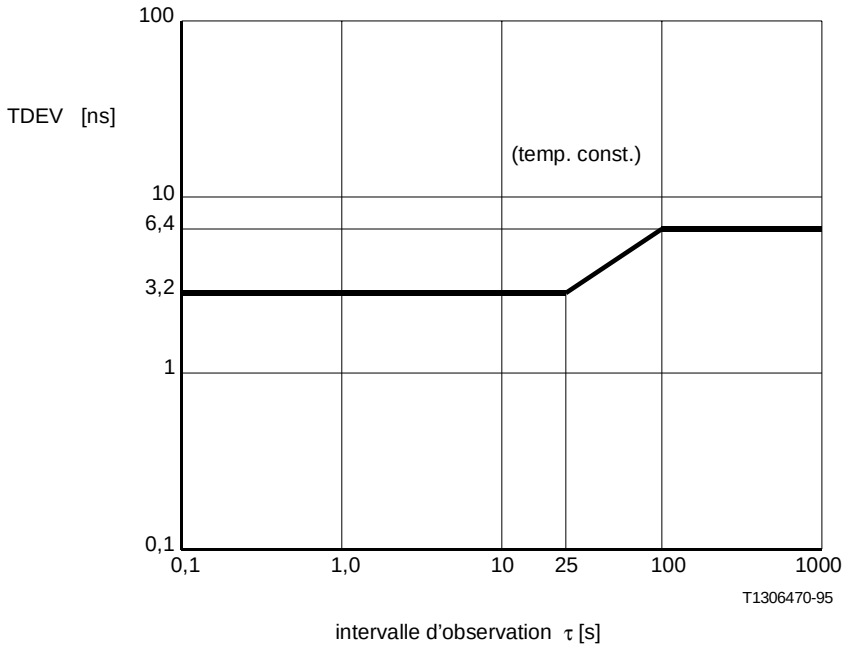


FIGURE 2/G.813

Génération de dérapage (TDEV) pour l'option 1, la température étant constante

b) *Option 2*

Lorsque l'horloge SEC est en mode de fonctionnement verrouillé synchronisé sur une référence sans dérapage, l'erreur MTIE et l'écart TDEV mesurés en sortie à une température constante (à ± 1° K près) seront inférieurs aux limites indiquées dans les Tableaux 4 et 5.

TABLEAU 4/G.813

Génération de dérapage (MTIE) pour l'option 2, la température étant constante

Limite MTIE	Intervalle d'observation τ
20 ns	$0,1 < \tau \leq 1$ s
$20\tau^{0,48}$ ns	$1 < \tau \leq 10$ s
60 ns	$10 < \tau \leq 1000$ s

TABLEAU 5/G.813

Génération de dérapage (TDEV) pour l'option 2, la température étant constante

Limite TDEV	Intervalle d'observation τ
$3,2\tau^{-0,5}$ ns	$0,1 < \tau \leq 2,5$ s
2 ns	$2,5 < \tau \leq 40$ s
$0,32\tau^{0,5}$ ns	$40 < \tau \leq 1000$ s
10 ns	$1000 < \tau \leq 10\,000$ s

Les prescriptions résultantes sont représentées sur les Figures 3 et 4.

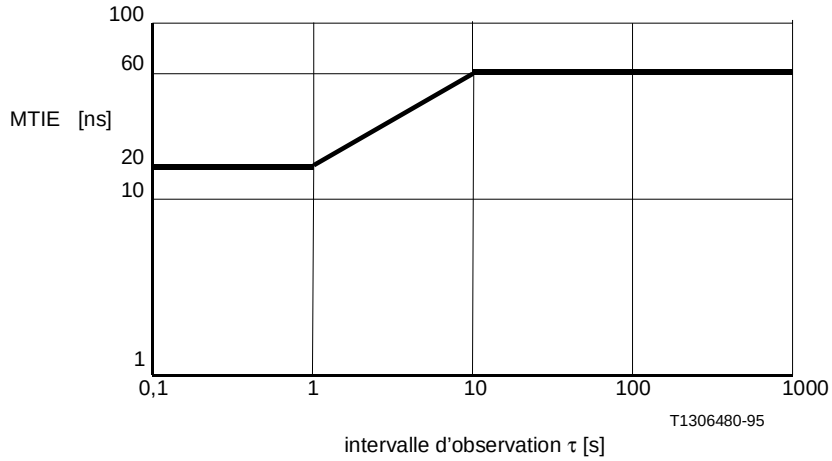


FIGURE 3/G.813

Génération de dérapage (MTIE) pour l'option 2, la température étant constante

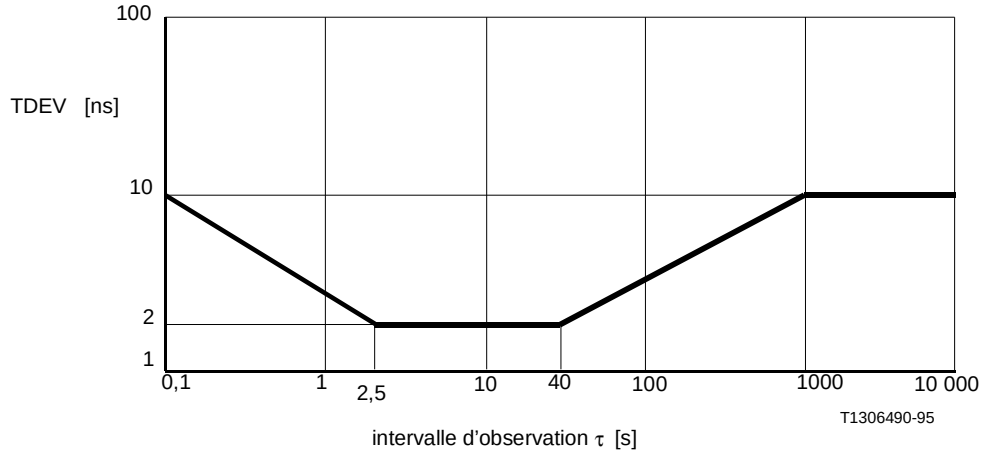


FIGURE 4/G.813

Génération de dérapage (TDEV) pour l'option 2

7.2 Dérapage en mode non verrouillé

Lorsqu'une horloge n'est pas verrouillée à une référence de synchronisation, les composantes de bruit aléatoire sont négligeables par rapport aux effets déterministes comme le biais fréquentiel initial. Les effets dus au dérapage en mode non verrouillé sont donc traités au 10.2.

7.3 Gigue

La plupart des prescriptions énoncées dans la présente Recommandation sont applicables à n'importe quelle interface de sortie, mais ce n'est pas le cas pour la génération de gigue; les prescriptions de génération de gigue sont basées sur des Recommandations existantes qui fixent des limites différentes selon les débits d'interface. Ces prescriptions sont énoncées séparément pour les interfaces indiquées dans l'article 11. Par souci de cohérence avec les autres prescriptions de gigue, les valeurs sont données en UI crête à crête, où UI correspond à l'inverse du débit de l'interface.

A noter qu'en général, toutes les caractéristiques de filtre spécifiées dans le présent article sur la génération de bruit pour les interfaces STM-N ont été harmonisées avec les caractéristiques de filtre correspondant à la limite réseau spécifiées dans la Recommandation G.825. Fait exception le filtre passe-haut à 12 kHz utilisé dans l'option 2 qui est spécifié dans la Recommandation G.783. On essaiera, dans le futur, de continuer à harmoniser les spécifications de largeur de bande de filtre.

NOTE – En raison de la nature stochastique de la gigue, il est possible que les valeurs crête à crête données dans la présente Recommandation soient dépassées. Les prescriptions doivent donc être respectées dans au moins 99% de toutes les mesures réalisées.

a) *Option 1*

Gigue en sortie à une interface à 2048 kHz

En l'absence de gigue en entrée, la gigue intrinsèque à une interface de sortie à 2048 kHz mesurée sur une période de 60 secondes ne doit pas dépasser 0,05 UI crête à crête lorsqu'elle est mesurée avec un filtre passe-bande unipolaire avec des fréquences de coupure à 20 Hz et 100 kHz.

Gigue en sortie à une interface STM-N

En l'absence de gigue en entrée à l'interface de synchronisation, la gigue intrinsèque aux interfaces optiques de sortie STM-N mesurée sur une période de 60 secondes ne doit pas dépasser les limites données dans le Tableau 6. La gigue autorisée à une interface (CMI) électrique STM-1 nécessite un complément d'étude.

TABLEAU 6/G.813

Génération de gigue à l'interface STM-N pour l'option 1

Interface	Filtre de mesure	Amplitude crête à crête
STM-1	500 Hz à 1,3 MHz	0,50 UI
	65 kHz à 1,3 MHz	0,10 UI
STM-4	1000 Hz à 5 MHz	0,50 UI
	250 kHz à 5 MHz	0,10 UI
STM-16	5000 Hz à 20 MHz	0,50 UI
	1 MHz à 20 MHz	0,10 UI
pour l'interface STM-1 1 UI = 6,43 ns pour l'interface STM-4 1 UI = 1,61 ns pour l'interface STM-16 1 UI = 0,40 ns		

b) *Option 2*

En l'absence de gigue en entrée à l'interface de synchronisation, la gigue intrinsèque aux interfaces optiques en sortie STM-N, mesurée avec un filtre passe-bande dont les caractéristiques sont spécifiées dans le Tableau 7, sera inférieure à 0,10 UI crête à crête.

TABLEAU 7/G.813

Génération de gigue à l'interface STM-N pour l'option 2

Interface	Filtre de mesure
STM-1	12 kHz à 1,3 MHz
STM-4	12 kHz à 5 MHz
STM-16	12 kHz à 20 MHz

8 Tolérance de bruit

La tolérance de bruit d'une horloge SEC correspond à un niveau minimal de bruit de phase à l'entrée de cette horloge qui doit être toléré tout en:

– maintenant l'horloge dans les limites prescrites. Les limites exactes nécessitent un complément d'étude;

– ne causant pas d'alarme;

– ne provoquant pas la commutation de référence de l'horloge;

– ne provoquant pas le passage au mode conservatoire de l'horloge.

La tolérance de bruit de l'horloge SEC est généralement identique à la limite réseau pour l'interface de synchronisation afin de maintenir des caractéristiques acceptables. Toutefois, cette limite peut différer selon les applications. Pour déterminer la tolérance de bruit d'une horloge SEC, la limite réseau correspondant au cas le plus défavorable doit donc être utilisée. L'Appendice I explique, à titre d'information, les différentes limites réseau pour des caractéristiques de charge utile acceptables.

Les tolérances de dérapage et de gigue données aux 8.1 et 8.2 représentent les plus mauvais niveaux qu'une interface porteuse de synchronisation puisse présenter. Le signal TDEV utilisé pour les tests de conformité doit être généré en ajoutant des 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 d'un filtre équivalent de mesure passe-bas du premier ordre à 10 Hz avec un intervalle maximal d'échantillonnage τ_0 de 1/30 secondes. La période de mesure minimale pour l'écart TDEV est égale à douze fois la période d'intégration ($T = 12\tau$).

8.1 Tolérance de dérapage

a) *Option 1*

La tolérance de dérapage en entrée d'une horloge SEC exprimée en valeurs limites d'erreur MTIE et d'écart TDEV est donnée dans les Tableaux 8 et 9:

TABLEAU 8/G.813

Tolérance de dérapage en entrée (MTIE) pour l'option 1

Limite MTIE	Intervalle d'observation τ
0,25 µs	$0{,}1 < \tau \leq 2{,}5$ s
$0{,}1\tau$ µs	$2{,}5 < \tau \leq 20$ s
2 µs	$20 < \tau \leq 400$ s
$0{,}005\tau$ µs	$400 < \tau \leq 1000$ s

TABLEAU 9/G.813

Tolérance de dérapage en entrée (TDEV) pour l'option 1

Limite TDEV	Intervalle d'observation τ
12 ns	$0{,}1 < \tau \leq 7$ s
$1{,}7\tau$ ns	$7 < \tau \leq 100$ s
170 ns	$100 < \tau \leq 1000$ s

Les prescriptions résultantes sont représentées sur les Figures 5 et 6.

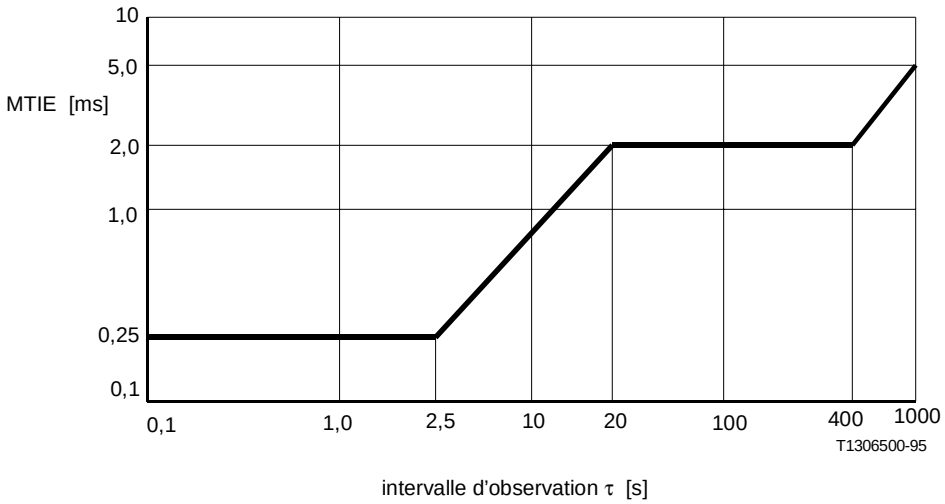


FIGURE 5/G.813

Tolérance de dérapage en entrée (MTIE) pour l'option 1

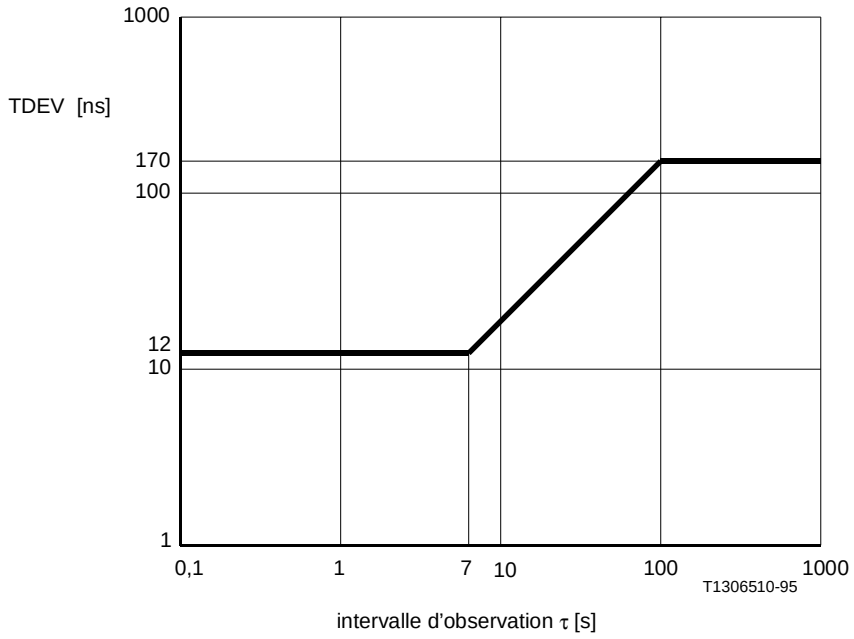


FIGURE 6/G.813

Tolérance de dérapage en entrée (TDEV) pour l'option 1

Pour l'étude de signaux de test appropriés servant à vérifier la conformité au gabarit de la Figure 6, des signaux de test avec une variation de phase sinusoïdale peuvent être utilisés, conformément aux niveaux donnés dans le Tableau 10.

TABLEAU 10/G.813

Limite inférieure du dérapage sinusoïdal maximal admissible à l'entrée pour l'option 1

Amplitude de dérapage crête à crête		Fréquence de dérapage				
A_1 (µs)	A_2 (µs)	f_4 (MHz)	f_3 (MHz)	f_2 (MHz)	f_1 (Hz)	f_0 (Hz)
0,25	2	0,32	0,8	16	0,13	10

La prescription résultante est représentée sur la Figure 7.

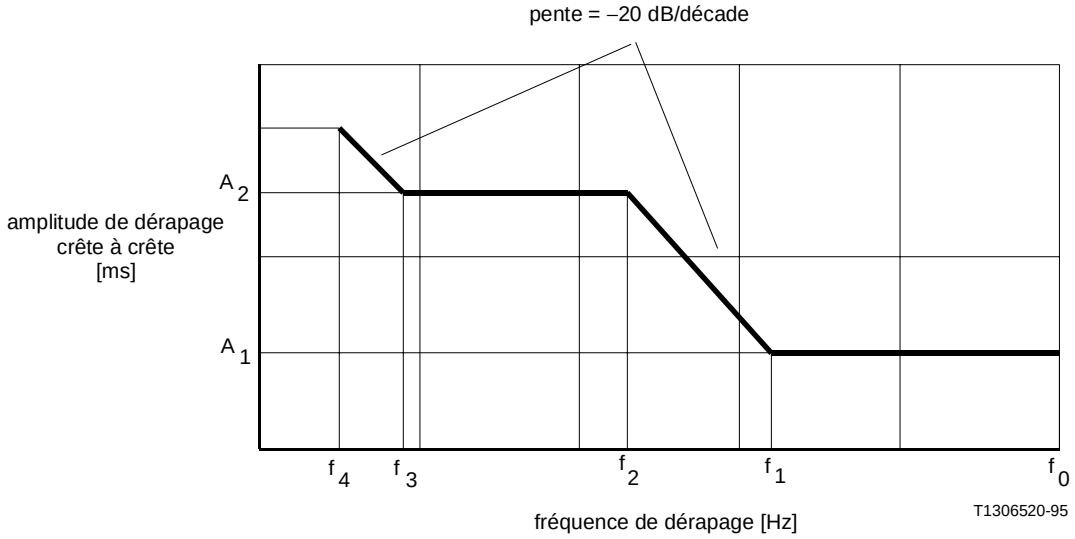


FIGURE 7/G.813

Limite inférieure du dérapage sinusoïdal maximal admissible à l'entrée pour l'option 1

b) *Option 2*

La tolérance de dérapage en entrée d'une horloge SEC exprimée en valeurs d'écart TDEV est spécifiée dans le Tableau 11:

TABLEAU 11/G.813

Tolérance de dérapage en entrée (TDEV) pour l'option 2

Limite TDEV	Intervalle d'observation τ
17 ns	$0{,}1 < \tau \leq 3$ s
$5{,}77\tau$ ns	$3 < \tau \leq 30$ s
$31{,}6325\tau^{0,5}$ ns	$30 < \tau \leq 1000$ s

La prescription résultante est représentée sur la Figure 8. Il n'est pas défini de prescription concernant l'expression de la tolérance de dérapage en entrée en valeurs d'erreur MTIE.

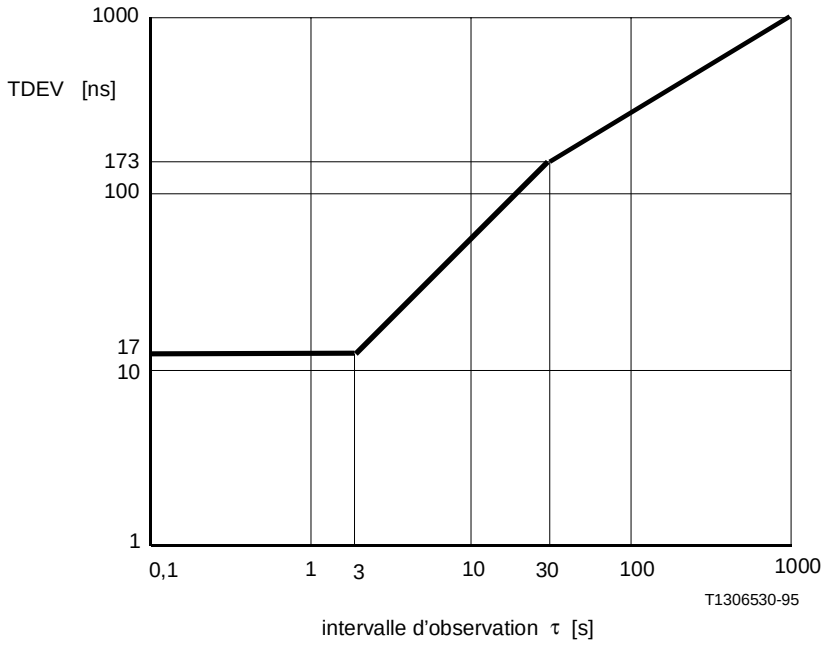


FIGURE 8/G.813

Tolérance de dérapage en entrée (TDEV) pour l'option 2

8.2 Tolérance de gigue

a) *Option 1*

La limite inférieure de la gigue en entrée maximale admissible pour des signaux à 2048 kHz et 2048 kbit/s porteurs de synchronisation pour une horloge SEC est donnée sur la Figure 9.

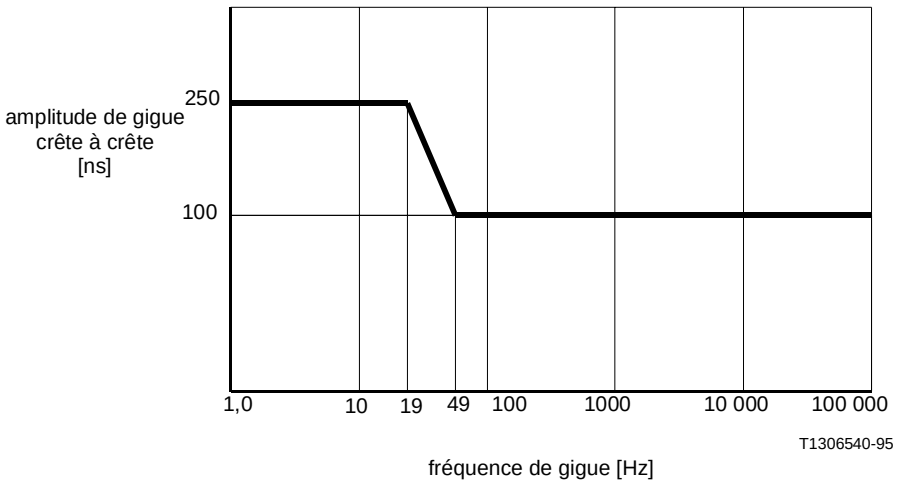


FIGURE 9/G.813

Limite inférieure de la gigue en entrée maximale admissible

b) *Option 2*

La limite inférieure de la gigue maximale admissible pour des signaux STM-N porteurs de synchronisation pour une horloge SEC est donnée sur la Figure 10 et dans le Tableau 12. Pour les réseaux de l'option 2, la pratique habituelle consiste à choisir des liaisons de

référence de synchronisation qui fonctionnent bien dans la limite réseau; par conséquent, le plateau à A_3 et les fréquences f_1 et f_2 de la Figure 10 et du Tableau 12 sont incohérents avec la limite réseau indiquée dans la Recommandation G.825. Ceci se traduit par une horloge d'option 2 qui a une tolérance de gigue inférieure à la limite réseau spécifiée dans la Recommandation G.825. On essaiera, dans le futur, d'harmoniser ces niveaux de tolérance de gigue pour les signaux STM-N.

La tolérance de gigue pour des références de synchronisation externes à 1544 kbit/s reste à déterminer.

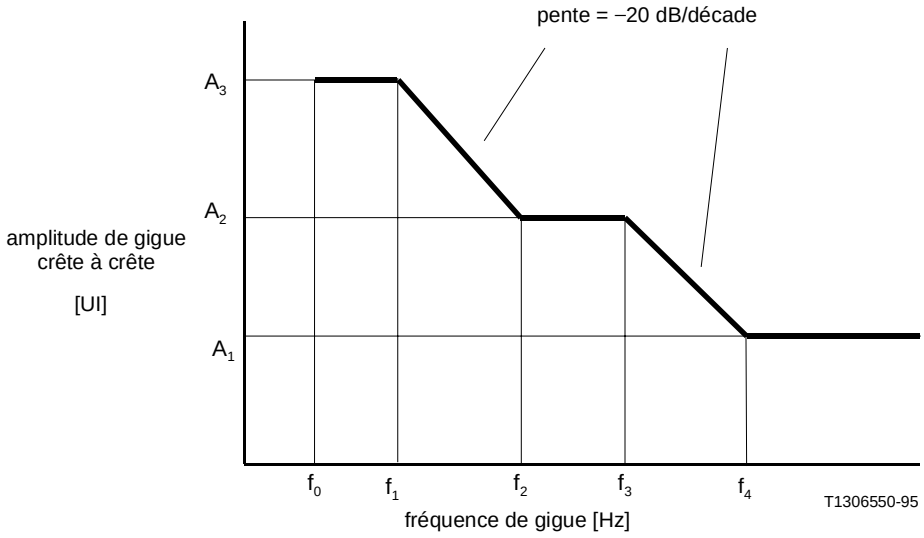


FIGURE 10/G.813

Tolérance de gigue de la Recommandation G.813 pour l'option 2

TABLEAU 12/G.813

Tolérance de gigue de la Recommandation G.813 pour l'option 2

Niveau STM-N	f_0 (Hz)	f_1 (Hz)	f_2 (Hz)	f_3 (Hz)	f_4 (Hz)	A_1 (UIpp)	A_2 (UIpp)	A_3 (UIpp)
1	10	30	300	6,5k	65k	0,15	1,5	15
4	10	30	300	25k	250k	0,15	1,5	15
16	10	600	6000	100k	1000k	0,15	1,5	15
UIpp UI (intervalle unitaire) crête à crête (unit interval peak-to-peak).								

9 Transfert de bruit

La caractéristique de transfert de l'horloge SEC détermine ses propriétés concernant le transfert des excursions de la phase d'entrée par rapport à la phase de la porteuse. On peut considérer l'horloge SEC 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 autorisées pour le comportement de ce filtre passe-bas, basées sur les éléments donnés dans l'Appendice II, sont indiquées ci-dessous.

Dans la bande passante, le gain de phase de l'horloge SEC doit être inférieur à 0,2 dB (2,3%). Les considérations ci-dessus s'appliquent à un modèle linéaire d'horloge SEC. Toutefois, ce modèle ne doit pas restreindre la mise en oeuvre.

a) *Option 1*

La largeur de bande minimale requise pour une horloge SEC est de 1 Hz. Sa largeur de bande maximale requise est de 10 Hz.

b) *Option 2*

Lorsque l'élément de réseau SDH a comme référence un signal de rythme STM-N qui satisfait au gabarit d'écart TDEV d'entrée de la Figure 8 et du Tableau 11, il doit émettre des signaux de sortie qui satisfont aux limites d'écart TDEV de sortie du Tableau 13:

TABLEAU 13/G.813

Transfert de dérapage pour l'option 2 (dérapage maximal en sortie lorsque le dérapage en entrée satisfait aux conditions du Tableau 11/G.813)

Limite TDEV	Invervalle d'observation τ
10 ns	$0,1 < \tau \leq 1,7$ s
$5,77\tau$ ns	$1,7 < \tau \leq 30$ s
$31,63\tau^{0,5}$ ns	$30 < \tau \leq 1000$ s

L'écart TDEV est mesuré à l'aide d'un filtre équivalent de mesure passe-bas du premier ordre à 10 Hz avec un intervalle maximal d'échantillonnage τ_0 de 1/30 secondes. La période minimale de mesure pour l'écart TDEV est égale à douze fois la période d'intégration ($T = 12\tau$).

La prescription résultante est représentée par le gabarit de la Figure 11. L'objet de ces gabarits est de garantir que la largeur de bande maximale d'une horloge SEC est de 0,1 Hz. Ces gabarits ne doivent pas être utilisés pour vérifier la valeur crête du gain de phase. Il n'y a pas de prescription en matière de largeur de bande minimale.

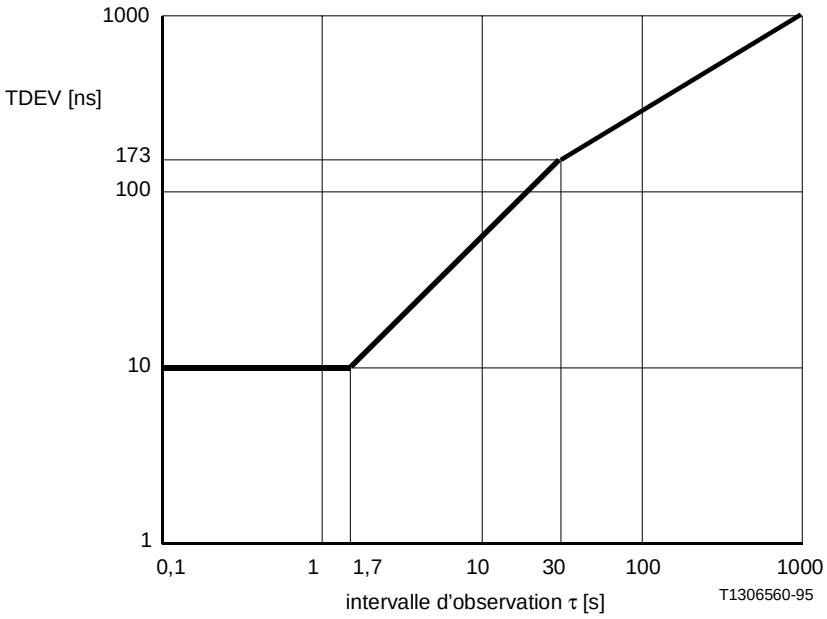


FIGURE 11/G.813

Transfert de dérapage pour l'option 2 (dérapage maximal en sortie lorsque le dérapage en entrée satisfait aux conditions de la Figure 8/G.813)

10 Transitoires de phase et caractéristiques du mode conservatoire

Les prescriptions du présent article s'appliquent à des situations dans lesquelles le signal d'entrée est affecté par des perturbations ou des pannes de transmission (interruptions brèves, commutation entre différents signaux de synchronisation, perte de référence, par exemple) qui se traduisent par des transitoires de phase à la sortie de l'horloge SEC (voir l'article 11). La capacité à résister aux perturbations est nécessaire pour éviter les défauts ou pannes de transmission. Les pannes de transmission et les perturbations sont des conditions de charge courantes en transmission.

Les mesures d'erreur MTIE pour les horloges de l'option 2 sont effectuées avec un filtre équivalent de mesure passe-bas du premier ordre à 100 Hz.

Pour assurer l'intégrité de la transmission, il est recommandé que tous les mouvements de phase à la sortie de l'horloge SEC restent inférieurs aux limites spécifiées dans les paragraphes suivants.

10.1 Transitoires de phase à court terme

a) *Option 1*

Cette prescription reflète les caractéristiques de l'horloge dans les cas où la référence d'entrée (choisie) est perdue en raison d'une panne dans le conduit de référence et une seconde référence d'entrée, alignée sur la même horloge de référence, est disponible simultanément ou peu de temps après la détection de la panne (par exemple dans les cas de restauration autonome). En pareil cas, la référence est perdue pour 15 s au plus. La variation de phase en 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 doit pas dépasser $\Delta t + 5 \times 10^{-8} \times S$ secondes sur une période S quelconque pouvant aller jusqu'à 15 secondes. Δt correspond à deux sauts de phase qui peuvent se produire pendant la transition vers le mode conservatoire ou à partir de ce mode et ne doit pas dépasser 120 ns avec un biais fréquentiel temporaire inférieur à $7{,}5 \times 10^{-6}$.

La prescription résultante totale est résumée sur la Figure 12. L'objet de cette figure est de décrire le mouvement de phase correspondant au cas le plus défavorable et pouvant être attribué à un commutateur d'une horloge SEC de référence. Les horloges peuvent changer d'état plus rapidement qu'il n'est indiqué ici. Des informations générales sur les spécifications qui régissent cette prescription sont fournies dans l'Appendice II.

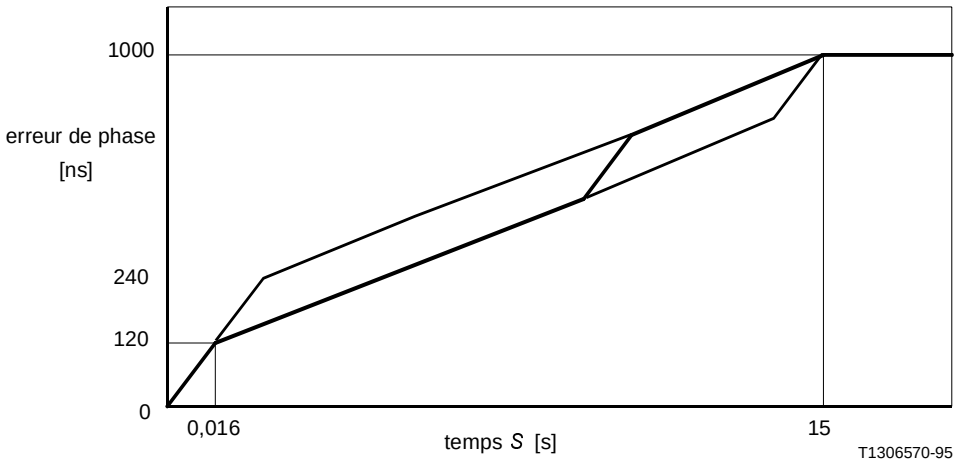


FIGURE 12/G.813

Transitoire de phase maximal en sortie dû à une commutation de référence pour l'option 1

La Figure 12 montre deux sauts de phase dans le transitoire dû à une commutation d'horloge. Le premier saut correspond à la réponse initiale à une perte de la source de référence de synchronisation et au passage consécutif au mode conservatoire. L'amplitude de ce saut correspond à un biais fréquentiel inférieur à $7{,}5 \times 10^{-6}$ pendant une durée inférieure à 16 ms. Après 16 ms, le mouvement de phase ne peut que rester en dessous de la ligne de pente 5×10^{-8} fin de limiter l'activité du pointeur. Le second saut, qui doit se produire dans les 15 s après le passage au mode conservatoire, correspond à la commutation vers l'horloge secondaire. Les mêmes prescriptions s'appliquent à ce saut. Après le second saut, l'erreur de phase doit rester constante et inférieure à 1 μs.

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

Lorsque le signal de synchronisation d'entrée est perdu pendant plus de 15 s, les prescriptions du 10.2 s'appliquent.

b) *Option 2*

Pendant les opérations de reconfiguration d'horloge (commutation de référence par exemple), la sortie de l'horloge doit respecter la prescription d'erreur MTIE indiquée dans le Tableau 14.

TABLEAU 14/G.813

Erreur MTIE en sortie due à une commutation de référence pour l'option 2

Limite MTIE	Invervalle d'observation τ
non spécifié	$\tau \leq 0{,}014$ s
(7,6+885τ) ns	0,014 s< $\tau \leq 0{,}5$ s
(300+300τ) ns	0,5 s < $\tau \leq 2{,}33$ s
1000 ns	2,33 s< τ

Cette prescription de MTIE est illustrée sur la Figure 13.

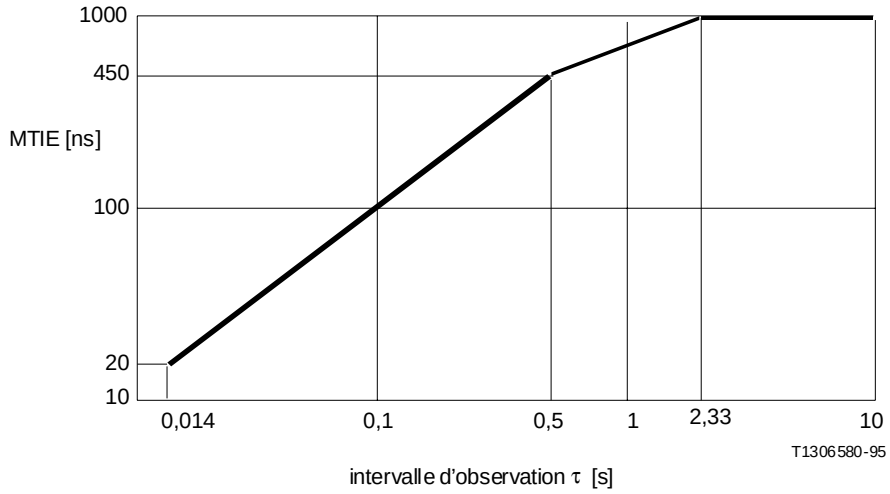


FIGURE 13/G.813

Erreur MTIE en sortie due à une commutation de référence pour l'option 2

10.2 Transitoires de phase à long terme (mode conservatoire)

Cette prescription limite les excursions maximales du signal de rythme en sortie. Par ailleurs, elle restreint l'accumulation du mouvement de phase pendant les dégradations du signal d'entrée ou les perturbations internes.

a) *Option 1*

Lorsqu'une horloge SEC perd sa référence, on dit qu'elle passe au mode conservatoire. L'erreur de phase, ΔT, à la sortie de l'horloge SEC par rapport à l'entrée au moment où la référence est perdue ne doit pas, sur une période quelconque $S > 15$ s, dépasser la limite suivante:

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

avec:

a_1 50 ns/s (voir Note 1);

a_2 2000 ns/s (voir Note 2);

b $1{,}16 \times 10^{-4}$ ns/s2 (voir Note 3);

c 120 ns (voir Note 4).

Pour cette limite, le biais fréquentiel maximal doit être de $\pm 4{,}6 \times 10^{-6}$. Le comportement pour $S < 15$ s est défini au 10.1.

NOTES

1 Le biais fréquentiel a_1 représente un biais fréquentiel initial valant 5×10^{-8}.

2 Le biais fréquentiel a_2 permet de tenir compte des variations de température après le passage de l'horloge au mode conservatoire et vaut 2×10^{-6}. S'il n'y a pas de variation de température, la contribution du terme $a_2 S$ à l'erreur de phase est nulle.

3 La dérive b est due au vieillissement: $1{,}16 \times 10^{-4}$ ns/s^2 correspond à une dérive de fréquence de 1×10^{-8}/jour. Cette valeur est déduite des caractéristiques typiques de vieillissement après un fonctionnement continu de 10 jours. Le but n'est pas de mesurer cette valeur jour après jour étant donné que les effets de la température domineront.

4 Le décalage de phase c englobe toute dérive de phase supplémentaire qui peut se produire pendant la transition associée au passage au mode conservatoire.

La prescription globale résultante à température constante (c'est-à-dire lorsque les effets de la température sont négligeables) est résumée sur la Figure 14.

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

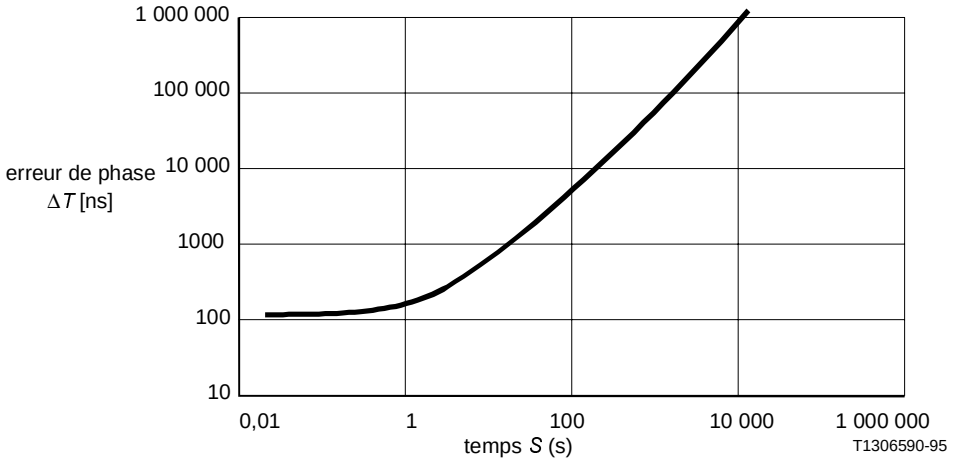


FIGURE 14/G.813

Erreur de phase admissible pour une horloge SEC en mode conservatoire à température constante

b) *Option 2*

Au cours du passage au mode conservatoire, il est possible qu'un transitoire de phase soit généré. On suppose qu'un tel transitoire se produit dans les 64 premières secondes du mode conservatoire. Pour tout transitoire associé au passage au mode conservatoire, l'erreur MTIE (par rapport à l'entrée au moment de la perte de la référence) sera au plus égale aux valeurs indiquées dans le Tableau 15.

TABLEAU 15/G.813

Erreur MTIE pendant le passage au mode conservatoire pour l'option 2

Limite MTIE	Intervalle d'observation τ
non spécifié	$\tau < 0{,}014$ s
$(7{,}6+885\tau)$ ns	$0{,}014 \text{ s} \leq \tau < 0{,}5$ s
$(300+300\tau)$ ns	$0{,}5 \text{ s} \leq \tau < 2{,}33$ s
$(884+50\tau)$ ns	$2{,}33 \text{ s} \leq \tau < 64$ s
non spécifié	$64 \text{ s} \leq \tau$

Cette prescription d'erreur MTIE est illustrée sur la Figure 15.

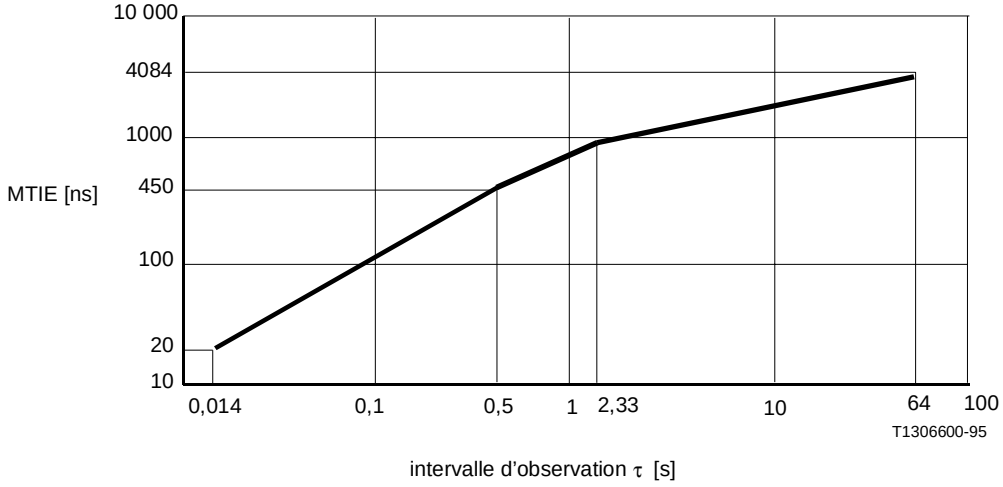


FIGURE 15/G.813

Erreur MTIE pendant le passage au mode conservatoire pour l'option 2

Le biais fréquentiel relatif initial observé pendant la première minute après 64 secondes sera inférieur à $0{,}05 \times 10^{-6}$.

Toute dérive de fréquence sera inférieure à $5{,}8 \times 10^{-12}$/s. La dérive est définie comme étant la variation du biais fréquentiel relatif par unité de temps. Ces spécifications s'appliquent à température constante.

10.3 Variation de phase due à des interruptions des signaux d'entrée

a) *Option 1*

Pour les interruptions à court terme des signaux d'entrée de synchronisation, qui n'entraînent pas de commutation de référence, la variation de phase en sortie ne doit pas dépasser 120 ns, avec un biais fréquentiel maximal de $7{,}5 \times 10^{-6}$ pendant une période maximale de 16 ms.

b) *Option 2*

Ceci nécessite un complément d'étude.

10.4 Discontinuité de phase

a) *Option 1*

En cas de tests internes rares ou d'autres perturbations internes (à l'exception des pannes importantes de matériel, par exemple celles qui entraîneraient la commutation de protection de l'équipement d'horloge) à l'intérieur de l'horloge d'équipement SDH, les conditions suivantes doivent être remplies:

– la variation de phase sur une période *S* quelconque allant jusqu'à 16 ms ne doit pas dépasser 7,5*S* ns;

– la variation de phase sur une période *S* quelconque comprise entre 16 ms et 2,4 s ne doit pas dépasser 120 ns;

– pour des périodes supérieures à 2,4 s, la variation de phase pendant chaque intervalle de 2,4 s ne doit pas dépasser 120 ns avec un biais temporaire inférieur à $7{,}5 \times 10^{-6}$, la variation de phase totale pouvant aller jusqu'à 1 μs.

b) *Option 2*

Ceci nécessite un complément d'étude.

11 Interfaces

Les prescriptions de la présente Recommandation se rapportent aux points de référence internes aux éléments de réseau (NE) dans lesquels l'horloge est imbriquée et ces points ne sont pas nécessairement accessibles par l'utilisateur pour effectuer des mesures ou des analyses. Les caractéristiques de l'horloge SEC ne sont donc pas définies en ces points de référence internes, mais au niveau des interfaces externes de l'équipement. Les interfaces d'entrée et de sortie pour les équipements SDH dans lesquels l'horloge SEC peut se trouver sont:

– les interfaces à 1544 kbit/s conformes aux dispositions de l'article 2/G.703;

– les interfaces externes à 2048 kHz conformes aux dispositions de l'article 10/G.703;

– les interfaces à 2048 kbit/s conformes aux dispositions de l'article 6/G.703;

– les interfaces de trafic STM-N.

A noter que toutes les interfaces ci-dessus ne peuvent pas être mises en oeuvre dans tous les équipements. Ces interfaces doivent être conformes aux prescriptions supplémentaires de gigue et de dérapage définies dans la présente Recommandation.

Appendice I

Lignes directrices relatives à la relation existant entre limites réseau et tolérances sur le bruit d'entrée

La limite réseau représente le cas le plus défavorable d'accumulation de gigue et de dérapage dans le réseau de distribution de la synchronisation pour une application donnée. L'objet principal de la définition d'une limite réseau est d'indiquer la quantité maximale de gigue et de dérapage que chaque élément de synchronisation du réseau peut accepter en entrée tout en restant dans les limites de tolérance de performances. La limite réseau ne devra être dépassée en sortie par aucun élément de synchronisation du réseau. Les limites réseau fournissent ainsi indirectement les prescriptions de limite inférieure pour les valeurs maximales de gigue et de dérapage admises à l'entrée des éléments de synchronisation.

Selon l'application ou l'horloge, il est possible que différentes contraintes puissent être imposées à l'interface de synchronisation. Toutefois, la tolérance de bruit pour une horloge donnée doit correspondre à la prescription qui impose les contraintes les plus sévères à l'horloge.

I.1 Limites réseau en option 1

Pour les horloges d'équipements SDH (SEC) en option 1, une seule limite réseau est imposée à toutes les applications; cette limite est définie dans les Figures 5 à 7 dans le corps de la Recommandation.

I.2 Limites réseau en option 2

En option 2, et pour que la gigue cumulée de la charge utile à 45 Mbit/s à travers les îlots AU-3 soit acceptable, le signal de synchronisation à l'entrée des horloges SEC doit obéir aux limites de réseau définies par le gabarit de la Figure 8 du corps de la Recommandation.

Pour garantir des caractéristiques acceptables de dérapage cumulé et de glissement à la charge utile de 1544 kbit/s transportée à travers des îlots VC-11 et aboutissant sur des mémoires tampons à glissement contrôlé avec une hystérésis de l'ordre de 18 µs, le signal de synchronisation à l'entrée des horloges SEC doit respecter le gabarit de la Figure I.1.

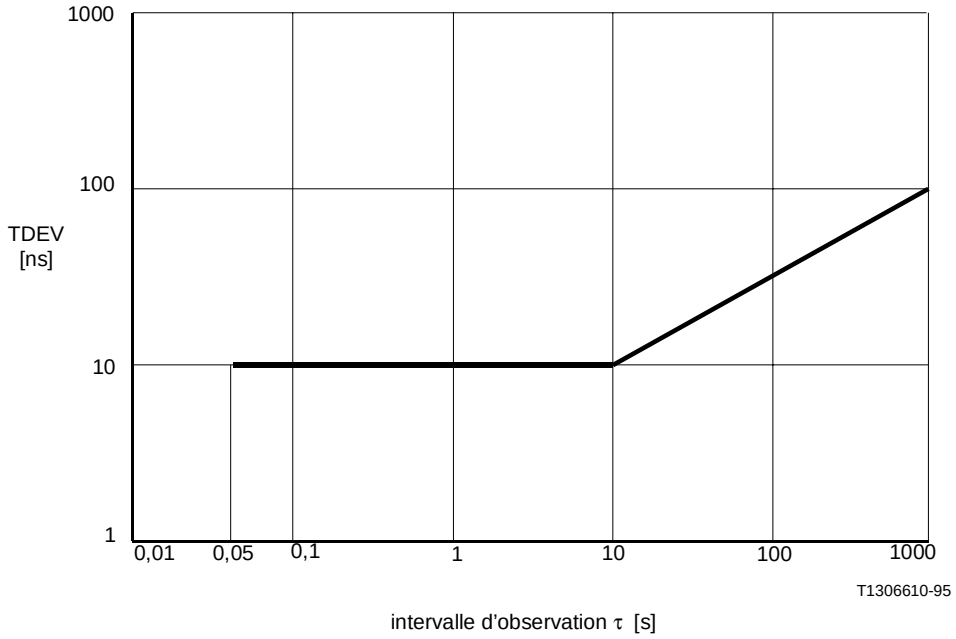


FIGURE I.1/G.813

Limites réseau de synchronisation pour respecter les caractéristiques de glissement à 1544 kbit/s définies dans la Recommandation G.822

Appendice II

Considérations relatives à la largeur de bande nécessaire, à l'accumulation de bruit et à l'accumulation de dérapage de la charge utile

II.1 Introduction

En mode verrouillé, une horloge d'équipement SDH (SEC) aura généralement le comportement d'une boucle analogique de verrouillage de phase obéissant à une équation linéaire du deuxième ordre. Ceci permet d'utiliser les termes de largeur de bande (équivalente) à 3 dB et de facteur (équivalent) d'amortissement, tels que ces termes sont utilisés dans la théorie des boucles analogiques à verrouillage de phase, que la technologie de l'horloge SEC soit numérique ou analogique.

Le présent appendice discute du choix de la largeur de bande équivalente en fonction des contraintes imposées par les spécifications et les hypothèses adoptées. De plus, cet appendice avance un certain nombre de considérations relatives au gabarit de la limite réseau pour l'écart temporel TDEV en option 2 (pour les caractéristiques acceptables de dérapage et de glissement pour le transport de flux à 1544 kbit/s sur des îlots VC-11) de la Figure I.1 et pour les gabarits d'écart temporel TDEV et d'erreur maximale d'intervalle temporel MTIE de génération de dérapage en option 2 des Figures 3 et 4.

II.2 Hypothèses et prescriptions applicables au réseau en option 1

II.2.1 Gigue acceptable dans le module STM-N selon la Recommandation G.825

Le Tableau 2/G.825 spécifie que la tolérance de gigue pour le signal STM-4 décroît linéairement avec une pente de $7{,}5 \times 10^{-6}$ entre les niveaux A_2 (0,25 µs) et A_3 (1,5 UI). Le cas du signal STM-4 est le plus restrictif à cet égard. Les prescriptions relatives aux modules STM-1 et STM-16 sont respectivement de $15{,}2 \times 10^{-6}$ et de $9{,}5 \times 10^{-6}$.

Ces prescriptions conduisent directement à une limite supérieure de la bande passante des horloges SEC. Lorsqu'une telle horloge se commute sur une autre référence, elle subit un saut de phase en entrée, car les phases des différentes références ne sont généralement pas corrélées. De tels phénomènes peuvent induire un saut de phase en sortie d'une magnitude maximale de 120 ns. La Figure II.2 illustre de tels sauts de phase. La magnitude indiquée de 120 ns est comprise entre les niveaux A_2 et A_3 du Tableau 2/G.825, et la limite des $7{,}5 \times 10^{-6}$ s'applique donc. En d'autres termes, il faudrait au moins 16 ms pour atteindre un déphasage de 120 ns en sortie. Une constante de temps de 16 ms correspond à une bande passante d'au plus 10 Hz dans un modèle de boucle de verrouillage de phase avec un facteur d'amortissement raisonnable (par exemple supérieur à 3).

II.2.2 Accumulation de dérapage dans une chaîne de distribution de synchronisation

Pour choisir la bande passante d'une horloge SEC, il faut considérer la chaîne de référence de synchronisation de la Figure 6-4/G.803, qui correspond à la configuration la plus défavorable. Pour limiter l'accumulation de dérapage, le rapport de bande passante entre l'horloge SEC et l'horloge de type G.812 doit être assez grand. La Recommandation Q.551 indique 0,1 Hz comme limite supérieure de la bande passante d'une horloge du type G.812. Dans cette hypothèse, la bande passante d'une horloge SEC doit être d'au moins 1 Hz. Si ce rapport de bandes passantes est suffisamment grand, seule une fraction de la chaîne représentée sur la Figure II.1 doit être prise en compte pour calculer la contribution des horloges SEC au bruit de sortie de la chaîne de synchronisation.

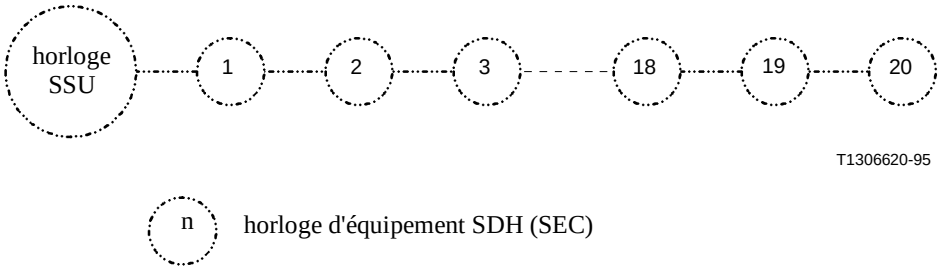


FIGURE II.1/G.813

Chaîne de référence de synchronisation

Des simulations ont été effectuées à l'aide de modèles standard de dispositifs de récupération d'horloge. Les résultats de ces simulations montrent que l'effet des horloges SEC est prédominant dans le bruit en sortie, et que l'élargissement de la bande passante de ces horloges réduit significativement la gigue et le dérapage induits par la chaîne. Ceci amène à prescrire une largeur de bande minimale de l'ordre de 1 Hz.

II.2.3 Transitoires de phase dus à la restauration automatique du rythme

La chaîne de référence de la Figure 6-4/G.803 montre qu'un alignement de synchronisation dans le réseau peut compter jusqu'à 10 horloges G.812 et 60 horloges SEC. Comme le dérapage d'un tel alignement est limité à 5 µs, il est nécessaire de limiter les transitoires de phase qui résultent d'une restauration automatique de rythme dans une chaîne d'horloges SEC.

En adoptant une valeur de 1 µs comme limite supérieure de transitoire de phase, et en supposant en outre que les transitoires de phase restent en dessous de 1 µs, la chaîne d'horloges SEC a les mêmes caractéristiques d'erreur maximale d'intervalle temporel qu'une seule horloge de type G.812. Une telle disposition évite le risque de voir les horloges G.812 en aval déclencher une alarme ou procéder à des basculements de bases de temps de référence en raison d'entrées incorrectes, car on suppose que les horloges G.812 pourront en général accepter les transitoires de 1 µs générés par les horloges G.812 en amont.

A partir de la prescription du transitoire maximal de 1 µs, il est possible de déduire une limite inférieure à la bande passante des horloges SEC, compte tenu du temps de rétablissement d'une chaîne d'horloges SEC et de la précision de maintien d'une telle horloge. Etant donné que deux sauts de phase représentant chacun une contribution de 120 ns peuvent être nécessaires pour passer à l'état de maintien et pour en revenir, il faudra fonctionner pendant 15 s avec une marge d'erreur de 50 ns/s ($0{,}05 \times 10^{-6}$), tout en restant dans la limite de transitoire de phase de 1000 ns (voir la Figure II.2).

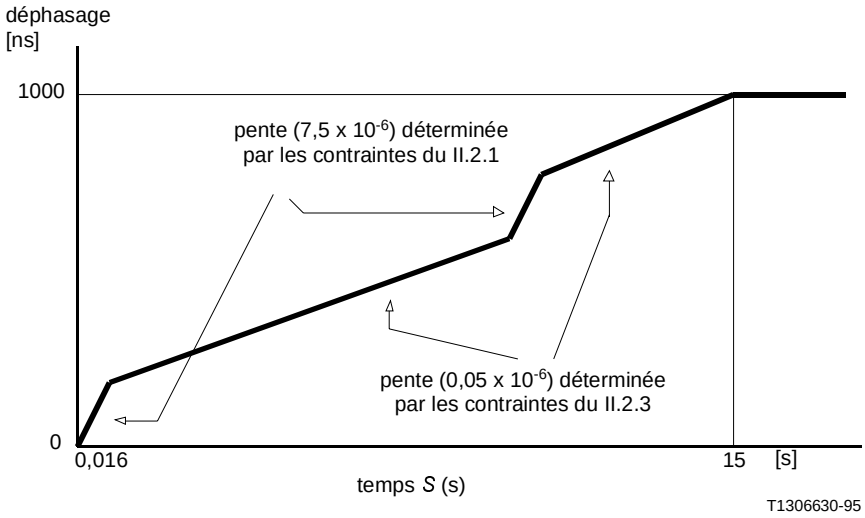


FIGURE II.2/G.813

Phase en sortie d'horloge SEC
en présence de commutations de base de temps de référence

Ceci impose de trouver un compromis entre d'une part le temps de traitement des messages d'état de synchronisation qui déclenchent la procédure de rétablissement de rythme, et d'autre part la bande passante des horloges SEC. Dans les simulations effectuées en application de la Figure II.2, on a supposé un temps de traitement des messages d'état de synchronisation et de commutation de base de temps de référence de l'ordre de 200 à 600 ms. Ceci correspond à une largeur de bande minimale de 1 Hz pour l'horloge SEC. Toutefois, des tests effectués sur des équipements SDH des premières générations ont donné des temps de commutation entre bases de temps allant jusqu'à 10 secondes pour les commutations vers le mode de maintien et retour. L'objectif futur devra être de réduire ce temps de commutation vers le mode de maintien et retour.

Cette simulation a été effectuée avec le plus long alignement d'horloges SEC (20) en anneau. La limite de transitoire de phase des 1000 ns n'est atteinte que sur une seule horloge SEC lorsqu'une défaillance apparaît en un endroit de l'anneau. De plus, on a supposé dans la simulation que chaque commutation dans chaque noeud induisait l'échelon de phase maximal de +120 ns.

II.2.4 Conclusion

Les prescriptions énumérées ci-dessus ont conduit à imposer aux horloges SEC les contraintes de largeur de bande récapitulées dans le Tableau II.1.

TABLEAU II.1/G.813

Largeur de bande prescrite pour les horloges SEC en option de configuration 1

Prescription	Contrainte résultante de largeur de bande pour l'horloge SEC
gigue acceptable pour le module STM-N selon la Recommandation G.825	< 10 Hz
dérapage cumulé dans un alignement de synchronisation; rapport de largeur de bande d'horloges G.812/SEC	> 1 Hz
dérapage cumulé dans un alignement de synchronisation; valeur cumulée	> 1 Hz
transitoires de phase de 1 µs maximum dus au rétablissement automatique de rythme	> 1 Hz

On peut conclure de ce qui précède que la largeur de bande d'une horloge SEC doit être comprise entre 1 et 10 Hz.

II.3 Hypothèses et prescriptions applicables au réseau en option 2

II.3.1 Prescriptions relatives à la largeur de bande des horloges

Les éléments suivants ont été pris en compte pour déterminer la largeur de bande maximale d'une horloge G.813 utilisée dans les réseaux basés sur la hiérarchie du flux à 1544 kbit/s de la Recommandation G.824:

– les installations à 1544 kbit/s de la hiérarchie G.824 utilisées pour la distribution de la synchronisation peuvent subir un transitoire de phase allant jusqu'à 81 ns sur une période quelconque de 1,326 ms (1/8 UI au débit de 1544 kbit/s) et jusqu'à un total de 1000 ns au maximum (1000 ns en 16,4 ms, soit $\Delta f/f = 61 \times 10^{-6}$ maximum);

– s'ils ne sont pas correctement filtrés, ces transitoires de synchronisation au débit de 1544 kbit/s peuvent induire d'importantes variations de phase sur les charges utiles synchronisées dans les conteneurs de la hiérarchie numérique synchrone (et notamment les charges utiles à 44 736 kbit/s des unités administratives AU-3) du fait du processus de justification asynchrone;

– l'horloge G.813 en option 2 doit filtrer et ralentir ces variations de phase rapides, sinon il est possible que le processus de justification asynchrone introduise 25 intervalles unitaires (UI) de gigue dans les charges utiles à 44 736 kbit/s (gigue au niveau de 44 736 kbit/s mesurée en sortie d'un filtre passe-haut unipolaire de 10 Hz). Comme la limite de gigue de réseau pour les charges utiles de 44 736 kbit/s dans la hiérarchie G.824 est de 5 UI de crête à crête, ce niveau de gigue n'est pas acceptable;

– la ventilation du bilan de gigue de réseau pour les charges utiles à 44 736 kbit/s passant à travers des îlots de la hiérarchie SDH a été déterminée de manière à autoriser 32 îlots SDH à 44 736 kbit/s, compte tenu de la gigue de mappage des conduits SDH à 44 736 kbit/s, de la gigue due aux pointeurs des unités AU-3, et de la gigue cumulée à 44 736 kbit/s par les processus de transport asynchrones (transport plésiochrone). La partie de ce bilan correspondant à la gigue de mappage des conduits SDH à 44 736 kbit/s prévoit 0,4 UIpp (intervalle unitaire de crête à crête) de gigue à 44 736 kbit/s par paire de synchroniseur/désynchroniseur (îlot SDH);

– pour limiter à environ 0,4 UIpp la gigue des charges utiles à 44 736 kbit/s, induite par les transitoires de synchronisation à 1544 kbit/s dans le processus de mappage des conduits SDH, la largeur de bande de filtrage de l'horloge de l'élément de réseau doit être au maximum de 0,1 Hz pour les éléments de réseau pilotés par les horloges G.813 en option 2.

Il n'existe pas de limite inférieure à la largeur de bande des horloges G.813 en option 2.

II.3.2 Gabarit de limite réseau pour l'écart temporel

Le gabarit de limite réseau pour l'écart temporel de la Figure I.1 a été établi à partir des études sur l'accumulation de dérapage dans les signaux à 1544 kbit/s transportés à travers des îlots VC-11 de la hiérarchie SDH. Un îlot VC-11 est un réseau SDH à interfaces asynchrones; la Figure II.3 représente une connexion de référence d'îlot VC-11 pour le dérapage.

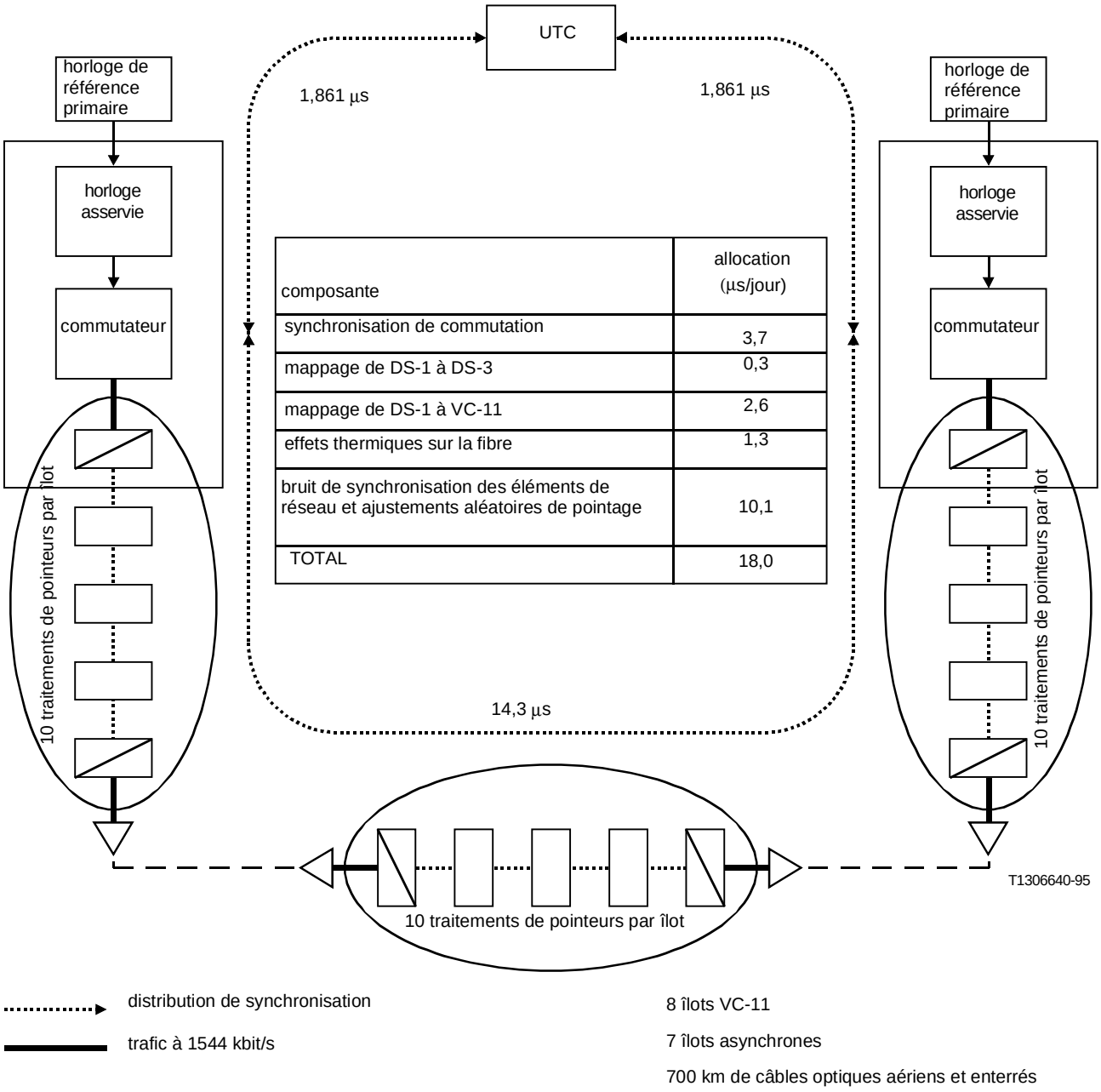


FIGURE II.3/G.813

Modèle de référence et bilan de dérapage pour un îlot VC-11 de la SDH

Comme les îlots VC-11 sont interconnectés, la gigue et le dérapage peuvent s'accumuler à mesure que les signaux à 1544 kbit/s sont mappés puis extraits des signaux SDH. Des simulations poussées ont été effectuées sur l'accumulation de dérapage dans les signaux à 1544 kbit/s[1]. Un bilan de dérapage a été établi pour les signaux à 1544 kbit/s transportés à travers ces îlots; ce bilan est également indiqué sur la Figure II.3. Ce bilan prévoit 10,1 µs de dérapage par jour pour le bruit de synchronisation des éléments de réseau SDH et pour les ajustements aléatoires de pointeurs. Ce bilan a été élaboré sur la base des lignes directrices tracées par la Recommandation G.822. Celle-ci spécifie qu'un réseau local ou national doit introduire en moyenne moins de 2,3 glissements par 24 heures (46% d'événements de 5 glissements par 24 heures) pendant au moins 98,9% du temps.

Le II.3.2.1 ci-dessous explicite les hypothèses du modèle de simulation de dérapage et de glissement dans les signaux à 1544 kbit/s. Ces simulations ont montré que dans un réseau à 8 îlots VC-11 dans lequel les éléments de réseau SDH sont synchronisés par un signal qui respecte le gabarit de la Figure I.1, il y aura 1 glissement ou moins de signal à 1544 kbit/s par jour 94,6% du temps, et 2 glissements ou moins de signal à 1544 kbit/s par jour 99% du temps. Il a été décidé qu'il n'était pas nécessaire de prendre en compte tous les réseaux comportant un grand nombre d'îlots VC-11; la Recommandation G.801 indique en effet que la connexion fictive de référence "… ne représente pas la connexion correspondant au cas le plus défavorable, rarement observé, bien qu'elle ait pour but d'englober la grande majorité des connexions.".

II.3.2.1 Hypothèses du modèle de simulation de dérapage cumulé et de glissement dans les signaux à 1544 kbit/s

Dans le modèle de simulation, la synchronisation de chaque noeud de chaque îlot SDH est assurée par un modèle bruité de phase d'horloge comportant une composante de scintillation de phase (FPM) et une composante de bruit blanc de fréquence (WFM). La génération de la composante WFM est réalisée par la production d'une séquence aléatoire de bruit blanc gaussien avec une moyenne nulle et un écart type égal à l'amplitude spécifiée, suivie par l'intégration du processus. La génération de la composante FPM est réalisée par la production d'une séquence aléatoire de bruit blanc gaussien avec une moyenne nulle et un écart type égal à l'amplitude spécifiée, suivie du passage de la séquence par une batterie de filtres selon ce qui a été décrit et réalisé en [1]. Les amplitudes des bruits FPM et WFM ont été choisis de telle manière que l'écart temporel TDEV du bruit de phase résultant respecte tout juste le gabarit de la Figure I.1. Le bruit de phase obtenu est filtré par un filtre passe-bas unipolaire à 0,1 Hz, représentant l'horloge de l'élément de réseau SDH. Il a été supposé que les processeurs des pointeurs VC-11 ont des seuils espacés de 2 octets, et que les processeurs des pointeurs des unités AU-3 ont des seuils espacés de 4 octets. Les désynchroniseurs des différents îlots n'ont pas été modélisés, car ils n'affectent pas les variations de phase à long terme et les caractéristiques de glissement des signaux à 1544 kbit/s. Les résultats de simulation décrits dans le paragraphe précédent correspondent à un réseau de 8 îlots VC-11 avec 10 noeuds de traitement de pointeurs par îlot. Pour chaque configuration simulée, (c'est-à-dire pour la configuration des 8 îlots VC-11 ci-dessus et pour de nombreuses autres configurations de test), plusieurs simulations indépendantes ont été effectuées pour que les résultats soient statistiquement significatifs.

Les caractéristiques de glissement des signaux à 1544 kbit/s ont été obtenues en utilisant un modèle approximatif de tampon de glissement. Dans ce modèle, la taille du tampon de glissement est égale à la somme de la taille de trame et de l'hystérésis. Le remplissage du tampon à un instant donné est égal à la somme du remplissage du tampon à l'instant initial, plus la phase en entrée du signal à

---

[1] Des simulations poussées ont également été effectuées pour l'accumulation de gigue dans les signaux à 1544 kbit/s et à 44 736 kbit/s, à partir des modèles de référence appropriés des îlots VC-11 et AU-3. Les résultats montrent que les spécifications de synchronisation des éléments de réseau SDH relatives au dérapage cumulé acceptable à 1544 kbit/s sont plus contraignantes que pour la gigue cumulée acceptable à 1544 kbit/s et à 44 736 kbit/s (voir l'Appendice I).

1544 kbit/s, plus le déphasage total dû au cumul de tous les glissements jusqu'à cet instant. Dans chacun des tests indépendants de simulation d'accumulation de déphasage du signal à 1544 kbit/s, le tampon simulé de glissement a reçu différentes valeurs initiales. Les valeurs de remplissage initial choisies étaient régulièrement espacées[2]. Le nombre de glissements dans chacun de ces essais a été consigné; une analyse statistique des résultats d'essai a permis ensuite d'estimer les probabilités d'obtention de différents nombres de glissements par jour.

L'entrée du modèle de tampon de glissement doit être la phase totale du signal à 1544 kbit/s, c'est-à-dire à la phase due à l'ensemble des composantes du bilan de dérapage représentées sur la Figure II.3. Toutefois, il n'était pas possible d'effectuer de multiples tests indépendants de simulation de 1 jour pour le mappage des signaux à 1544 kbit/s sur les signaux à 44 736 kbit/s, et des signaux à 1544 kbit/s sur les conteneurs VC-11, le coût en calcul de telles simulations étant prohibitif. De plus, on ne disposait pas de modèle pour la composante due aux effets thermiques sur la fibre. Ces composantes n'ont donc pas été simulées, mais il en a été tenu compte en réduisant l'hystérésis du tampon de glissement d'une quantité égale à la valeur qui leur a été allouée dans le bilan de la Figure II.3. L'hystérésis adoptée pour le tampon de glissement dans les simulations était donc de 13,8 µs. La composante de dérapage du signal à 1544 kbit/s due à la synchronisation de commutation a été simulée par un modèle de bruit de phase aléatoire semblable au modèle utilisé ci-dessus pour le bruit de synchronisation d'élément de réseau SDH. La principale différence entre les deux modèles est que le niveau de bruit de la synchronisation de commutation était un peu plus élevé.

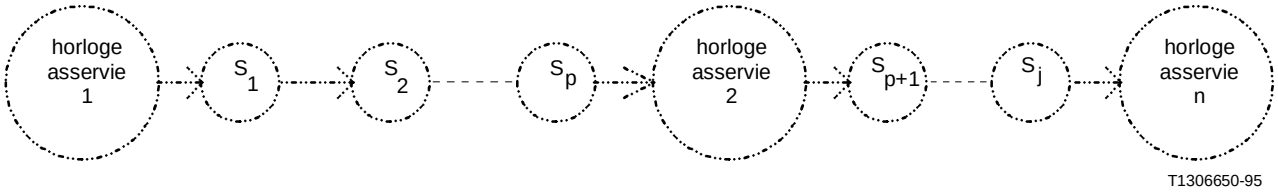
II.3.3 Accumulation de dérapage dans une chaîne de distribution de synchronisation

Le présent paragraphe décrit les études d'accumulation de bruit dans les chaînes de référence de synchronisation. Ce travail a pour but de vérifier que les prescriptions relatives au dérapage induit telles qu'elles sont indiquées dans les Figures 3 et 4 sont homogènes avec les limites réseau indiquées dans la Figure I.1.

La Figure II.4 représente un modèle générique de la distribution de synchronisation à travers un réseau SDH en option 2. A l'exception de la première horloge, le modèle suppose que toutes les horloges asservies de la chaîne récupèrent leur rythme sur la porteuse optique et non sur le signal utile asynchrone qu'elle véhicule. Les horloges asservies sont toutes d'une qualité meilleure que l'horloge SEC d'option 2. Ce modèle peut représenter la topologie de toute architecture de distribution de synchronisation (architecture linéaire, anneaux d'alignement de temps, etc.), et est homogène avec l'architecture des modèles donnée dans la Recommandation G.803.

---

[2] Dans la plupart des cas, le nombre de simulations indépendantes d'accumulation de dérapage était de 300, et pour chacune de ces simulations, le nombre de simulations du tampon de glissement était de 51.



S_i $i^{ème}$ horloge SEC de la chaîne

j nombre total d'horloges NE SDH

n nombre total d'horloges asservies

p nombre d'horloges NE SDH entre deux horloges asservies

NOTE - Dans la figure, l'horloge asservie n est le dernier élément de la chaîne de référence. Mais S_j pourrait être ce dernier élément.

FIGURE II.4/G.813

Chaîne de référence de distribution de synchronisation dans un réseau SDH

Des simulations ont été effectuées pour évaluer l'accumulation de bruit dans différentes configurations de chaînes de référence de synchronisation en option 2. Ces configurations comprennent notamment une chaîne de 10 éléments de réseau SDH à synchronisation externe et un anneau d'alignement de temps à 16 éléments de réseau SDH. La sortie de chaque horloge est supposée être la somme de l'entrée filtrée par un filtre passe-bas, plus le bruit interne et tout transitoires dus à la commutation de référence ou au réarrangement interne. Chaque horloge d'élément de réseau SDH est supposée avoir une largeur de bande de 0,1 Hz (voir l'article 9, option 2). Chaque horloge asservie est supposée avoir une largeur de bande de 0,01 Hz. Le dérapage produit par chaque horloge d'élément de réseau SDH est supposé respecter les gabarits d'écart temporel TDEV et d'erreur maximale d'intervalle temporel MTIE du 7.1 en option 2. Le modèle de génération de bruit a été établi en superposant des sources de bruit blanc de phase (WPM), de scintillation de phase (FPM) et de bruit blanc de fréquence (WFM) suivies d'un filtrage approprié.

Pour une chaîne de 10 éléments de réseau SDH à synchronisation externe et sans transitoire de phase, les résultats de la simulation ont montré que la sortie de la dernière horloge de la chaîne (le dixième élément de réseau SDH) avait un écart temporel TDEV d'environ 3 fois inférieur au gabarit de la Figure I.1 pour des temps d'intégration inférieurs à environ 400 s. Pour des temps d'intégration plus longs, l'écart TDEV à la sortie de la dernière horloge se stabilise puis décroît alors que le gabarit de TDEV continue à croître en même temps que le bruit blanc de fréquence. Pour un anneau d'alignement de temps à 16 éléments de réseau SDH et sans transitoire de phase, les résultats de la simulation ont montré que la sortie de la dernière horloge de la chaîne avait un écart TDEV d'environ 3 fois inférieur au gabarit de la Figure I.1 pour des temps d'intégration inférieurs à environ 100 s. Pour des temps d'intégration plus longs, l'écart TDEV à la sortie de la dernière horloge se stabilise puis décroît, alors que le gabarit de TDEV continue à croître en même temps que le bruit blanc de fréquence. Pour une chaîne de 4 éléments de réseau SDH à synchronisation externe avec 2 transitoires de phase par jour, chaque transitoire ayant une amplitude de 150 ns avec un signe choisi aléatoirement à l'initialisation, les résultats de la simulation ont montré que la sortie de la dernière horloge de la chaîne (le quatrième élément de réseau SDH) avait un écart temporel TDEV d'environ 3 fois inférieur au gabarit de la Figure I.1 pour des temps d'intégration inférieurs à environ 100 s. Pour des temps d'intégration plus longs, l'écart TDEV à la sortie de la dernière horloge croît moins vite que le gabarit sur environ 5000 s, puis croît avec à peu près la pente qu'induit un bruit blanc de fréquence (ce qui correspond bien à des transitoires en échelon survenant à des instants aléatoires). Pour les longues périodes d'intégration (au-delà de 10 000 s), l'écart TDEV pour la dernière horloge est d'environ 8 à 10 fois inférieur au gabarit.

Références

[1] BARNES James A., GREENHALL Charles A.: Large Sample Simulation of Flicker Noise, *19th Annual Precise Time and Time Interval (PTTI) Applications Planning Meeting*, décembre 1987.

SÉRIES DES RECOMMANDATIONS UIT-T

Série A	Organisation du travail de l'UIT-T
Série B	Moyens d'expression
Série C	Statistiques générales des télécommunications
Série D	Principes généraux de tarification
Série E	Réseau téléphonique et RNIS
Série F	Services de télécommunication non téléphoniques
Série G	**Systèmes et supports de transmission**
Série H	Transmission des signaux autres que téléphoniques
Série I	Réseau numérique à intégration de services
Série J	Transmission des signaux radiophoniques et télévisuels
Série K	Protection contre les perturbations
Série L	Construction, installation et protection des câbles et autres éléments des installations extérieures
Série M	Maintenance: systèmes de transmission, de télégraphie, de télécopie, circuits téléphoniques, et circuits loués internationaux
Série N	Maintenance: circuits internationaux de transmission radiophoniques et télévisuels
Série O	Spécifications des appareils de mesure
Série P	Qualité de transmission téléphonique
Série Q	Commutation et signalisation
Série R	Transmission télégraphique
Série S	Equipements terminaux de télégraphie
Série T	Equipements terminaux et protocoles des services télématiques
Série U	Commutation télégraphique
Série V	Communications de données sur le réseau téléphonique
Série X	Réseaux pour données et communication entre systèmes ouverts
Série Z	Langages de programmation