



UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

UIT-T

SECTEUR DE LA NORMALISATION
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS
DE L'UIT

G.812

(06/2004)

SÉRIE G: SYSTÈMES ET SUPPORTS DE
TRANSMISSION, SYSTÈMES ET RÉSEAUX
NUMÉRIQUES

Réseaux numériques – Objectifs de conception pour les
réseaux numériques

**Spécifications de rythme des horloges
asservies utilisées comme horloges nodales
dans les réseaux de synchronisation**

Recommandation UIT-T G.812

RECOMMANDATIONS UIT-T DE LA SÉRIE G
SYSTÈMES ET SUPPORTS DE TRANSMISSION, SYSTÈMES ET RÉSEAUX NUMÉRIQUES

CONNEXIONS ET CIRCUITS TÉLÉPHONIQUES INTERNATIONAUX	G.100–G.199
CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES COMMUNES À TOUS LES SYSTÈMES ANALOGIQUES À COURANTS PORTEURS	G.200–G.299
CARACTÉRISTIQUES INDIVIDUELLES DES SYSTÈMES TÉLÉPHONIQUES INTERNATIONAUX À COURANTS PORTEURS SUR LIGNES MÉTALLIQUES	G.300–G.399
CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DES SYSTÈMES TÉLÉPHONIQUES INTERNATIONAUX HERTZIENS OU À SATELLITES ET INTERCONNEXION AVEC LES SYSTÈMES SUR LIGNES MÉTALLIQUES	G.400–G.449
COORDINATION DE LA RADIOTÉLÉPHONIE ET DE LA TÉLÉPHONIE SUR LIGNES	G.450–G.499
EQUIPEMENTS DE TEST	G.500–G.599
CARACTÉRISTIQUES DES SUPPORTS DE TRANSMISSION	G.600–G.699
EQUIPEMENTS TERMINAUX NUMÉRIQUES	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.849
Gestion du réseau de transport	G.850–G.859
Intégration des systèmes satellitaires et hertziens à hiérarchie numérique synchrone	G.860–G.869
Réseaux de transport optiques	G.870–G.879
SECTIONS NUMÉRIQUES ET SYSTÈMES DE LIGNES NUMÉRIQUES	G.900–G.999
QUALITÉ DE SERVICE ET DE TRANSMISSION – ASPECTS GÉNÉRIQUES ET ASPECTS LIÉS À L'UTILISATEUR	G.1000–G.1999
CARACTÉRISTIQUES DES SUPPORTS DE TRANSMISSION	G.6000–G.6999
EQUIPEMENTS TERMINAUX NUMÉRIQUES	G.7000–G.7999
RÉSEAUX NUMÉRIQUES	G.8000–G.8999

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

Recommandation UIT-T G.812

Spécifications de rythme des horloges asservies utilisées comme horloges nodales dans les réseaux de synchronisation

Résumé

La présente Recommandation spécifie les caractéristiques minimales des dispositifs utilisés comme horloges nodales dans les réseaux de synchronisation. Ces caractéristiques concernent la déviation de fréquence, les plages d'accrochage, de maintien et de décrochage, la production de bruit, le bruit admissible et le transfert de bruit, les réactions aux transitoires et la performance en mode autonome. Les horloges nodales peuvent être utilisées dans les réseaux SDH ou RTPC.

La présente Recommandation spécifie trois types d'horloge. L'horloge de type I est essentiellement utilisée dans les réseaux optimisés pour la hiérarchie à 2048 kbit/s. Les horloges de types II et III sont essentiellement utilisées dans les réseaux optimisés pour la hiérarchie à 1544 kbit/s qui comprend les débits de 1544 kbit/s, 6312 kbit/s et 44 736 kbit/s.

L'Annexe A de la présente Recommandation contient les spécifications concernant trois autres types d'horloge. Les horloges de type IV sont généralement installées dans les réseaux existants qui prennent en charge la hiérarchie à 1544 kbit/s. Les horloges des types V et VI ont été définies respectivement pour les nœuds de transit et les nœuds locaux dans la version de 1988 de la présente Recommandation.

Source

La Recommandation UIT-T G.812 a été approuvée le 13 juin 2004 par la Commission d'études 15 (2001-2004) de l'UIT-T selon la procédure définie dans la Recommandation UIT-T A.8.

Mots clés

Caractéristique de dérapage, caractéristique de gigue, horloge nodale, objectifs de qualité de fonctionnement des horloges, paramètres de performance 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.

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 n'avait pas 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 responsables de la mise en œuvre de consulter la base de données des brevets du TSB.

© UIT 2005

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

TABLE DES MATIÈRES

		Page
1	Domaine d'application	1
2	Types d'horloge nodale et leurs applications	1
	2.1 Considérations relatives au réseau de synchronisation	1
	2.2 Types d'horloge nodale et leurs applications	2
3	Références normatives	3
4	Définitions	4
5	Abréviations	4
6	Précision de fréquence	4
7	Plages d'accrochage, de maintien et de décrochage	5
8	Bruit	5
	8.1 Dérapage en mode verrouillé	5
	8.2 Dérapage en mode non verrouillé	7
	8.3 Gigue	8
9	Bruit admissible	9
	9.1 Dérapage admissible	9
	9.2 Gigue admissible	12
10	Transfert de bruit	14
11	Réactions aux transitoires et performance en mode autonome	16
	11.1 Réaction aux transitoires de phase à court terme	16
	11.2 Réaction aux transitoires de phase à long terme (mode autonome)	17
	11.3 Variation de la phase suite à des interruptions du signal d'entrée	19
	11.4 Discontinuité de phase	20
12	Interfaces	21
Annexe A – Spécifications applicables aux horloges de types IV, V et VI		21
	A.1 Précision de fréquence	21
	A.2 Plages d'accrochage, de maintien et de décrochage	21
	A.3 Bruit	22
	A.4 Bruit admissible	25
	A.5 Transfert de bruit	29
	A.6 Réaction aux transitoires et performance en mode autonome	30
	A.7 Interfaces	34
Appendice I – Relation entre l'écart temporel (TDEV) et la densité spectrale de puissance...		35
Appendice II – Méthode de mesure des caractéristiques de transfert du bruit		36
	II.1 Montage de mesure	37
	II.2 Modèle fonctionnel du générateur de bruit de TDEV	37

Recommandation UIT-T G.812

Spécifications de rythme des horloges asservies utilisées comme horloges nodales dans les réseaux de synchronisation

1 Domaine d'application

La présente Recommandation spécifie les caractéristiques minimales des dispositifs utilisés comme horloges nodales dans les réseaux de synchronisation. La fonction d'une horloge nodale est de choisir, parmi les liaisons de synchronisation externes aboutissant à une station de télécommunication, celle qui sera utilisée comme référence active de synchronisation, de diminuer sa gigue et son dérapage et ensuite de distribuer cette référence à l'équipement de télécommunication dans la station. Les caractéristiques définies dans la présente Recommandation s'appliquent dans des conditions ambiantes normales spécifiées pour les équipements de télécommunication.

La présente Recommandation donne les spécifications concernant les horloges nodales utilisées dans les réseaux SDH et les RTPC. Leurs caractéristiques peuvent éventuellement convenir à d'autres applications, mais chaque cas doit faire l'objet d'une étude particulière.

Normalement, une horloge nodale est une horloge asservie, calée sur une horloge de référence primaire. Afin d'obtenir une certaine redondance, l'horloge nodale dispose en général de plusieurs entrées pour des signaux de référence. En cas de dérangement sur toutes les liaisons entre les horloges maîtres et l'horloge nodale, l'horloge nodale doit pouvoir continuer à fonctionner dans des limites de performance prescrites (mode de fonctionnement autonome).

Une horloge nodale peut être un équipement distinct appelé équipement autonome de synchronisation (SASE, *stand alone synchronization equipment*) ou bien être intégrée dans un autre équipement tel un central téléphonique ou un brasseur SDH.

La présente Recommandation définit six types d'horloge. Les applications correspondant à chaque type d'horloge sont décrites au § 2.

2 Types d'horloge nodale et leurs applications

2.1 Considérations relatives au réseau de synchronisation

L'architecture des réseaux de synchronisation en général n'est pas normalisée. Les principes applicables à la synchronisation des réseaux SDH sont exposés dans la Rec. UIT-T G.803. Certains de ces principes peuvent être retenus comme règle générale de conception des réseaux de synchronisation.

Les spécifications de synchronisation applicables aux horloges nodales dans un environnement RTPC peuvent en principe être déterminées à partir des objectifs de taux de dérapage contrôlé définis dans la Rec. UIT-T G.822. Trois éléments permettent de déterminer si les objectifs énoncés dans la Rec. UIT-T G.822 peuvent être atteints, à savoir:

- la stabilité en mode autonome des horloges;
- la topologie des réseaux (c'est-à-dire la longueur, le routage, la redondance des références);
- les pratiques opérationnelles de l'opérateur (c'est-à-dire le temps moyen de réparation).

Seul le premier élément est couvert par la présente Recommandation. Les fournisseurs de réseaux peuvent choisir d'utiliser des types d'horloge particuliers dans leurs études de synchronisation afin qu'ils correspondent à la topologie de leur réseau et à leurs pratiques opérationnelles.

Les spécifications de synchronisation des horloges nodales dans le contexte de la SDH sont principalement guidées par les spécifications de gigue et de dérapage des Recommandations UIT-T G.823, G.824 et G.825. Comme les horloges des équipements SDH (telles que spécifiées dans la Rec. UIT-T G.813) ont des capacités de filtrage limitées et que, parallèlement, il faut que leurs sorties STM-N et PDH soient conformes aux Recommandations UIT-T G.823, G.824 et G.825, les transitoires de phase à la sortie des horloges nodales doivent être conformes à des spécifications plus restrictives par rapport à ce qui est strictement nécessaire pour les équipements de transport PDH purs.

NOTE – Comme les largeurs de bande des horloges des équipements SDH sont plus étendues pour les réseaux fondés sur la hiérarchie à 2048 kbit/s comparativement à ceux qui sont fondés sur la hiérarchie à 1544 kbit/s (tels que décrits dans l'option 1 et l'option 2 respectivement de la Rec. UIT-T G.813), les spécifications en matière de transitoires de phase en sortie sont en conséquence plus restrictives pour les horloges nodales utilisées dans la hiérarchie à 2048 kbit/s.

2.2 Types d'horloge nodale et leurs applications

Les spécifications contenues dans le corps principal de la présente Recommandation portent sur trois types d'horloge. L'horloge de type I est essentiellement utilisée dans des réseaux optimisés pour la hiérarchie à 2048 kbit/s. Les horloges de types II et III sont essentiellement utilisées dans les réseaux optimisés pour la hiérarchie à 1544 kbit/s qui inclut les débits de 1544 kbit/s, 6312 kbit/s et 44 736 kbit/s.

Les horloges de type I peuvent être utilisées à tous les niveaux de la hiérarchie de synchronisation dans les réseaux fondés sur la hiérarchie à 2048 kbit/s. Le dérapage et la largeur de bande des horloges de type I sont limités à des valeurs qui permettent l'installation d'un nombre maximal d'horloges nodales conformément à la chaîne de référence du réseau de synchronisation telle que définie dans la Rec. UIT-T G.803. Bien que les horloges de type I soient essentiellement destinées à être utilisées pour les réseaux fondés sur la hiérarchie à 2048 kbit/s, elles peuvent également être installées dans des réseaux fondés sur la hiérarchie à 1544 kbit/s aussi longtemps que la plage d'accrochage, le bruit produit et la tolérance au bruit (voir les § 7, 8 et 9) sont conformes aux spécifications les plus strictes qui s'appliquent aux horloges de type II ou III afin d'être compatibles avec les horloges pour équipement SDH conformes à l'option 2 de la Rec. UIT-T G.813.

Les horloges de type II ont une spécification de stabilité en mode autonome plus stricte que les horloges de type I. Elles sont en général utilisées dans les pivots de distribution des réseaux qui prennent en charge la hiérarchie à 1544 kbit/s précitée. Les horloges de type II ont une spécification de stabilité en mode autonome suffisante pour pouvoir fonctionner avec une seule référence aux niveaux les plus élevés de la hiérarchie de synchronisation. Bien que les horloges de type II soient principalement destinées à être utilisées dans les réseaux prenant en charge la hiérarchie à 1544 kbit/s, leurs spécifications en mode autonome leur permettent aussi d'être utilisées dans des réseaux à 2048 kbit/s à condition au moins que le bruit produit, la tolérance au bruit et le comportement aux transitoires (voir les § 8, 9, 11.1 et 11.4) soient conformes aux spécifications plus strictes qui s'appliquent aux horloges de type I afin d'être compatibles avec les horloges pour équipement SDH fabriquées conformément à l'option 1 de la Rec. UIT-T G.813.

Les horloges de type III ont une spécification de stabilité en mode autonome moins stricte que celle des horloges de type I ou II. Ces horloges sont en général utilisées dans les centraux d'extrémité des réseaux qui prennent en charge la hiérarchie à 1544 kbit/s précitée. Tout comme pour les horloges de type II, les horloges présentant une stabilité en mode autonome des horloges de type III peuvent également être installées dans des réseaux fondés sur la hiérarchie à 2048 kbit/s à condition qu'au moins le bruit produit, la tolérance de bruit et le comportement aux transitoires (voir les § 8, 9, 11.1 et 11.4) soient conformes aux spécifications les plus strictes qui s'appliquent aux horloges de type I lorsqu'elles sont utilisées pour synchroniser un équipement SDH.

L'Annexe A de la présente Recommandation contient les spécifications concernant les trois types d'horloge suivants.

Les horloges de type IV sont en général installées dans les réseaux existants qui prennent en charge la hiérarchie à 1544 kbit/s précitée. Si des horloges, présentant des caractéristiques de fonctionnement en mode autonome de type IV, sont intégrées dans un équipement SDH dans cette hiérarchie, il faut qu'elles soient conformes aux spécifications de l'option 2 de la Rec. UIT-T G.813.

Les horloges de type V sont en général installées dans les nœuds de transit existants des réseaux fondés sur les deux hiérarchies (1544 kbit/s et 2048 kbit/s) conformément aux spécifications de la version de 1988 de la présente Recommandation. Il convient de noter que ces horloges conviennent parfaitement à la synchronisation des réseaux SDH fondés sur la hiérarchie à 2048 kbit/s à condition qu'elles soient conformes au moins aux spécifications de production de bruit et de stabilité à court terme (voir les § 8, 11.1 et 11.4) des horloges de type I.

Les horloges de type VI sont en général installées dans les nœuds locaux existants des réseaux fondés sur la hiérarchie à 2048 kbit/s conformément aux spécifications de la version de 1988 de la présente Recommandation. Tout comme les horloges de type V, les horloges ayant les mêmes caractéristiques de stabilité en mode autonome que celles des horloges de type VI, peuvent être utilisées pour la synchronisation des réseaux SDH à condition que l'horloge soit conforme au moins aux spécifications de production de bruit et de stabilité à court terme (voir les § 8, 11.1 et 11.4) des horloges de type I.

3 Références normatives

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.

- [1] Recommandation UIT-T G.703 (2001), *Caractéristiques physiques et électriques des jonctions numériques hiérarchiques.*
- [2] Recommandation UIT-T G.783 (2004), *Caractéristiques des blocs fonctionnels des équipements de la hiérarchie numérique synchrone.*
- [3] Recommandation UIT-T G.801 (1988), *Modèles de transmission numérique.*
- [4] Recommandation UIT-T G.803 (2000), *Architecture des réseaux de transport à hiérarchie numérique synchrone.*
- [5] Recommandation UIT-T G.810 (1996), *Définitions et terminologie des réseaux de synchronisation.*
- [6] Recommandation UIT-T G.811 (1997), *Caractéristiques de rythme des horloges de référence primaires.*
- [7] Recommandation UIT-T G.813 (2003), *Caractéristiques de rythme des horloges asservies utilisées dans les équipements SDH.*
- [8] Recommandation UIT-T G.822 (1988), *Objectifs de limitation du taux de glissement commandé dans une communication numérique internationale.*
- [9] Recommandation UIT-T G.823 (2000), *Régulation de la gigue et du dérapage dans les réseaux numériques basés sur la hiérarchie à 2048 kbit/s.*

- [10] Recommandation UIT-T G.824 (2000), *Régulation de la gigue et du dérapage dans les réseaux numériques basés sur la hiérarchie à 1544 kbit/s.*
- [11] Recommandation UIT-T G.825 (2000), *Régulation de la gigue et du dérapage dans les réseaux numériques à hiérarchie numérique synchrone.*
- [12] Recommandation UIT-T Q.551 (2002), *Caractéristiques de transmission des commutateurs numériques.*

4 Définitions

Les termes et les définitions utilisés dans la présente Recommandation se trouvent dans la Rec. UIT-T G.810.

5 Abréviations

La présente Recommandation utilise les abréviations suivantes:

CMI	code binaire CMI (<i>coded mark inversion</i>)
MTIE	erreur maximale d'intervalle temporel (<i>maximum time interval error</i>)
NE	élément de réseau (<i>network element</i>)
PDH	hiérarchie numérique plésiochrone (<i>plesiochronous digital hierarchy</i>)
ppm	parties par million
PRBS	séquence binaire pseudo-aléatoire (<i>pseudo random binary sequence</i>)
PRC	horloge de référence primaire (<i>primary reference clock</i>)
PSD	densité spectrale de puissance (<i>power spectral density</i>)
RTPC	réseau téléphonique public commuté
SASE	équipement autonome de synchronisation (<i>stand alone synchronization equipment</i>)
SDH	hiérarchie numérique synchrone (<i>synchronous digital hierarchy</i>)
SEC	horloge d'équipement SDH (<i>SDH equipment clock</i>)
SSU	unité de synchronisation (<i>synchronization supply unit</i>)
STM	module de transport synchrone (<i>synchronous transport module</i>)
TDEV	écart temporel (<i>time deviation</i>)
UI	intervalle unitaire (<i>unit interval</i>)

6 Précision de fréquence

Dans des conditions de fonctionnement prolongé en mode autonome, la précision de la fréquence à la sortie des différents types d'horloge nodale ne doit pas dépasser les valeurs spécifiées dans le Tableau 1 par rapport à une référence calée sur une horloge primaire de référence, pendant une période de temps T comme indiqué dans le tableau précité.

Tableau 1/G.812 – Spécifications relatives à la précision de fréquence en sortie

	Type I	Type II	Type III
Précision	NA	$1,6 \times 10^{-8}$	$4,6 \times 10^{-6}$
Période T	NA	1 an	1 an
NA non applicable			
NOTE – La période de temps T s'applique après un fonctionnement synchronisé continu de 30 jours.			

7 Plages d'accrochage, de maintien et de décrochage

Les plages minimales d'accrochage, de maintien et de décrochage des différents types d'horloge nodale doivent être conformes aux valeurs indiquées dans le Tableau 2, indépendamment du décalage de fréquence de l'oscillateur interne.

Tableau 2/G.812 – Spécifications relatives à l'accrochage, au maintien et au décrochage

	Type I	Type II	Type III
Accrochage	1×10^{-8}	$1,6 \times 10^{-8}$	$4,6 \times 10^{-6}$
Maintien	NA	$1,6 \times 10^{-8}$	$4,6 \times 10^{-6}$
Décrochage	TBD	NA	NA
NA non applicable TBD à déterminer			

8 Bruit

Le bruit produit par une horloge asservie correspond au bruit de phase présent à la sortie de l'horloge lorsqu'un signal de référence parfait est appliqué à son entrée ou lorsqu'elle fonctionne en mode autonome (voir § 11.2). Pour les tests pratiques, il faut que la référence ait un niveau de performance au moins dix fois plus stable que les spécifications de sortie. La capacité de l'horloge à limiter ce bruit est décrite par sa stabilité en fréquence. Les mesures des paramètres MTIE et TDEV sont utiles pour caractériser la production de bruit.

Les paramètres MTIE et TDEV sont mesurés à travers un filtre de mesure passe-bas du premier ordre équivalant à 10 Hz, avec une période d'échantillonnage maximale τ_0 de 1/30 de seconde. La période de mesure minimale pour le paramètre TDEV est égale à 12 fois la période d'intégration ($T = 12 \tau$).

8.1 Dérapage en mode verrouillé

Lorsque l'horloge asservie fonctionne en mode verrouillé, la valeur du paramètre MTIE à température constante (à ± 1 K), mesurée en utilisant la configuration d'horloge synchronisée définie dans la Figure 1a/G.810, doit respecter les limites indiquées dans les Tableaux 3 et 4 pour les différents types d'horloge nodale.

Tableau 3/G.812 – Dérapage admissible (MTIE) pour une horloge nodale de type I à température constante (à ± 1 K)

Limite de MTIE (ns)	Intervalle d'observation τ (s)
24	$0,1 < \tau \leq 9$
$8 \times \tau^{0,5}$	$9 < \tau \leq 400$
160	$400 < \tau \leq 10\ 000$

Tableau 4/G.812 – Dérapage admissible (MTIE) pour une horloge nodale de type II ou III et à température constante (à ±1 K)

Limite de MTIE (ns)	Intervalle d'observation τ (s)
40	$0,1 < \tau \leq 1$
$40 \times \tau^{0,4}$	$1 < \tau \leq 10$
100	$\tau > 10$

Lorsqu'il est tenu compte des effets de la température, température dont les limites et la vitesse de variation restent à définir, la tolérance pour la contribution totale à l'erreur de MTIE d'une horloge nodale unique de type I est indiquée au Tableau 5.

Tableau 5/G.812 – Dérapage total admissible (MTIE) pour une horloge nodale de type I lorsque la température varie

Limite de MTIE (ns)	Intervalle d'observation τ (s)
$3,2 \tau^{0,5}$	$2500 < \tau \leq 10\ 000$

NOTE – Pour des périodes d'observation supérieures à 10 000 secondes, le MTIE ne devrait pas dépasser 1 μ s.

Les spécifications résultantes sont indiquées dans la Figure 1.

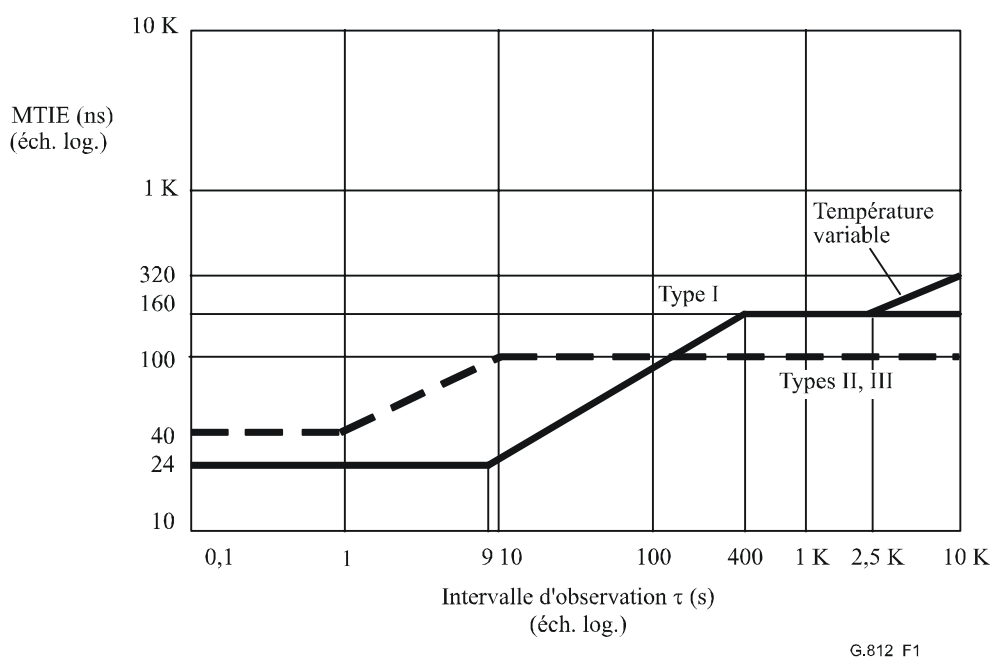


Figure 1/G.812 – Dérapage admissible (MTIE)

Lorsque l'horloge nodale fonctionne en mode verrouillé, l'écart TDEV à température constante (± 1 K) mesuré en utilisant la configuration d'horloge synchronisée définie dans la Figure 1a/G.810, ne doit pas dépasser les limites données dans les Tableaux 6 et 7 pour différents types d'horloge nodale.

Tableau 6/G.812 – Dérapage admissible (TDEV) pour une horloge nodale de type I à température constante (± 1 K)

Limite de TDEV (ns)	Intervalle d'observation τ (s)
3	$0,1 < \tau \leq 25$
$0,12 \tau$	$25 < \tau \leq 100$
12	$100 < \tau \leq 10\ 000$

Tableau 7/G.812 – Dérapage admissible (TDEV) pour une horloge nodale de type II ou III à température constante (± 1 K)

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

Les conditions résultantes sont indiquées dans la Figure 2.

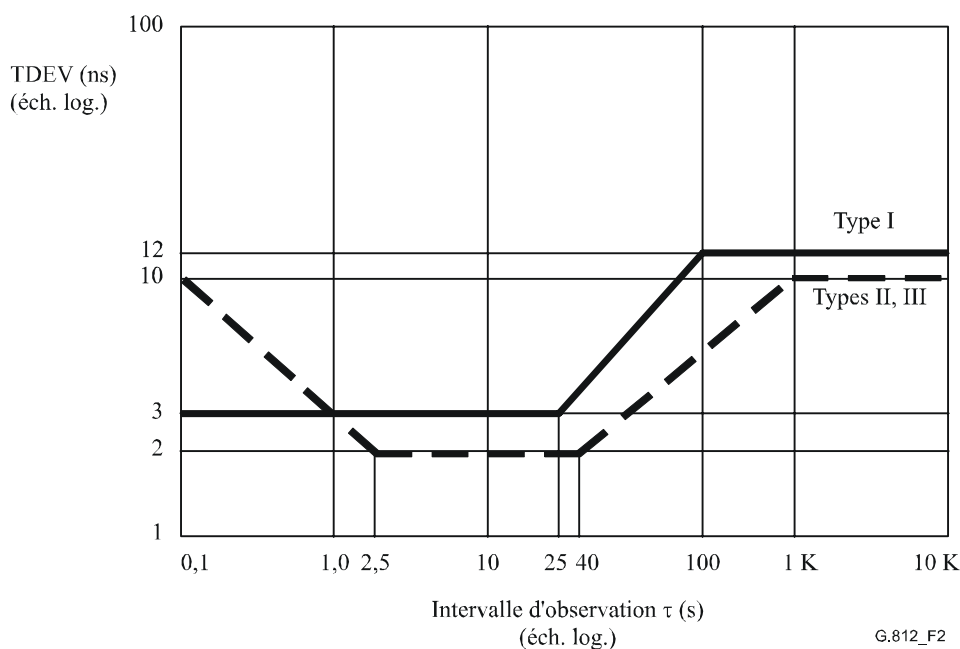


Figure 2/G.812 – Dérapage admissible (TDEV) à température constante

8.2 Dérapage en mode non verrouillé

Lorsqu'une horloge n'est pas verrouillée sur une référence de synchronisation, les composantes de bruit aléatoire sont négligeables par rapport aux effets déterministes tel le décalage initial de fréquence. Par conséquent, il est tenu compte des effets de dérapage en mode non verrouillé au § 11.2.

8.3 Gigue

Alors que la plupart des conditions à respecter spécifiées dans la présente Recommandation sont indépendantes de l'interface de sortie utilisée pour les mesures, il n'en est pas ainsi de la gigue produite; les conditions à respecter en matière de gigue sont établies à partir des Recommandations existantes qui fixent différentes limites pour différents débits d'interface. Ces conditions sont fixées séparément pour les interfaces identifiées au § 12. Dans un service d'homogénéité avec les autres conditions à respecter en matière de gigue, les valeurs sont données en UI crête à crête, dans lesquelles l'intervalle unitaire correspond au débit réciproque de l'interface.

Il convient de noter que toutes les caractéristiques des filtres spécifiées ici pour les interfaces STM-N ont été harmonisées avec les caractéristiques des filtres pour les limites de réseau telles que spécifiées dans la Rec. UIT-T G.825.

NOTE – Compte tenu de la nature stochastique de la gigue, les valeurs crête à crête données ici peuvent éventuellement être dépassées, c'est pourquoi les conditions fixées doivent être respectées pour au moins 99% des mesures effectuées.

8.3.1 Gigue de sortie au niveau des interfaces à 2048 kHz et 2048 kbit/s

En l'absence de gigue à l'entrée, la gigue intrinsèque au niveau des interfaces de sortie à 2048 kHz et 2048 kbit/s mesurée sur un intervalle de 60 secondes ne doit pas dépasser 0,05 UI crête à crête lorsqu'elle est mesurée avec un filtre passe-bande unipolaire dont les fréquences de coupure sont de 20 Hz et 100 kHz.

8.3.2 Gigue de sortie au niveau d'une interface à 1544 kbit/s

En l'absence de gigue à l'entrée, la gigue intrinsèque au niveau d'une interface de sortie à 1544 kbit/s ne doit pas dépasser 0,05 UI crête à crête mesurée avec un filtre passe-bande unipolaire dont les fréquences de coupure sont de 10 Hz et 40 kHz. L'intervalle de mesure appelle un complément d'étude.

8.3.3 Gigue de sortie au niveau d'une interface STM-N

En l'absence de gigue à l'entrée à l'interface de synchronisation, la gigue intrinsèque au niveau des interfaces sortie optique STM-N mesurée sur un intervalle de 60 secondes ne doit pas dépasser les limites indiquées dans le Tableau 8 ci-après. La gigue admissible sur une interface électrique STM-1 (CMI) est également donnée dans le Tableau 8 ci-après.

La décroissance du filtre de mesure à la fréquence de coupure inférieure doit être de 20 dB/décade et de 60 dB/décade à la fréquence de coupure supérieure. La caractéristique de décroissance du filtre de coupure supérieure appelle un complément d'étude.

Tableau 8/G.812 – Gigue produite sur les interfaces STM-N

Interface	Filtre de mesure (fréquences à -3 dB)	Amplitude crête à crête (UI)
STM-1 électrique	500 Hz à 1,3 MHz	0,50
	65 kHz à 1,3 MHz	0,075
STM-1 optique	500 Hz à 1,3 MHz	0,50
	65 kHz à 1,3 MHz	0,10
STM-4	1000 Hz à 5 MHz	0,50
	250 kHz à 5 MHz	0,10

Tableau 8/G.812 – Gigue produite sur les interfaces STM-N

Interface	Filtre de mesure (fréquences à -3 dB)	Amplitude crête à crête (UI)
STM-16	5000 Hz à 20 MHz	0,50
	1 MHz à 20 MHz	0,10
Pour une interface STM-1: 1 UI = 6,43 ns. Pour une interface STM-4: 1 UI = 1,61 ns. Pour une interface STM-16: 1 UI = 0,40 ns.		

9 Bruit admissible

Le bruit admissible pour une horloge G.812 correspond à la limite inférieure du niveau maximal de bruit de phase que l'horloge peut supporter à son entrée tout en:

- maintenant l'horloge dans les limites de performance prescrites. Ces limites appellent un complément d'étude;
- ne provoquant pas le déclenchement d'alarmes;
- ne provoquant pas une commutation de référence de l'horloge;
- ne provoquant pas le passage de l'horloge en mode autonome.

En général, le bruit admissible pour une horloge G.812 est le même que celui en limite de réseau pour l'interface de synchronisation qui permet de maintenir une performance acceptable. Toutefois, la limite de réseau pour l'interface de synchronisation peut être différente selon l'application. Par conséquent, afin de déterminer la tolérance de bruit d'une horloge asservie, la limite de réseau correspondant au cas le plus défavorable doit être utilisée. L'Appendice I/G.813 contient un texte explicatif des différentes limites de réseau permettant d'obtenir une performance acceptable au niveau de la charge utile.

Les tolérances de dérapage et de gigue, données aux § 9.1 et 9.2 représentent les valeurs les plus défavorables pour une interface acheminant la synchronisation. Le signal TDEV utilisé pour les tests de conformité doit être produit en ajoutant des sources de bruit blanc gaussien, un filtrage ayant été appliqué à chacune de ces sources pour obtenir le type de bruit recherché avec l'amplitude requise. Des indications sont données dans l'Appendice II.

Les paramètres MTIE et TDEV sont mesurés avec un filtre de mesure passe-bas équivalant à 10 Hz du premier ordre et un temps d'échantillonnage maximal τ_0 de 1/30 de seconde. La période de mesure minimale du paramètre TDEV est égale à douze fois la période d'intégration ($T = 12 \tau$).

9.1 Dérapage admissible

9.1.1 Dérapage admissible exprimé sous la forme d'une limite de MTIE

Le dérapage admissible à l'entrée d'une horloge G.812 exprimé sous la forme d'une limite de MTIE est donné dans le Tableau 9 pour des horloges nodales de type I et dans le Tableau 10 pour des horloges nodales de type II ou III.

**Tableau 9/G.812 – Gigue admissible à l'entrée (MTIE)
d'une horloge nodale de type I**

Limite de MTIE (μs)	Intervalle d'observation τ (s)
0,75	$0,1 < \tau \leq 7,5$
$0,1 \tau$	$7,5 < \tau \leq 20$
2	$20 < \tau \leq 400$
$0,005 \tau$	$400 < \tau \leq 1000$
5	$1000 < \tau \leq 10\ 000$

**Tableau 10/G.812 – Gigue admissible à l'entrée (MTIE)
d'une horloge nodale de type II ou III**

Limite de MTIE (μs)	Intervalle d'observation τ (s)
$0,3 + 0,002\ 5 \tau$	$0,05 < \tau \leq 280$
$0,997 + 0,000\ 01 \tau$	$\tau > 280$

Les conditions résultantes à respecter sont représentées à la Figure 3.

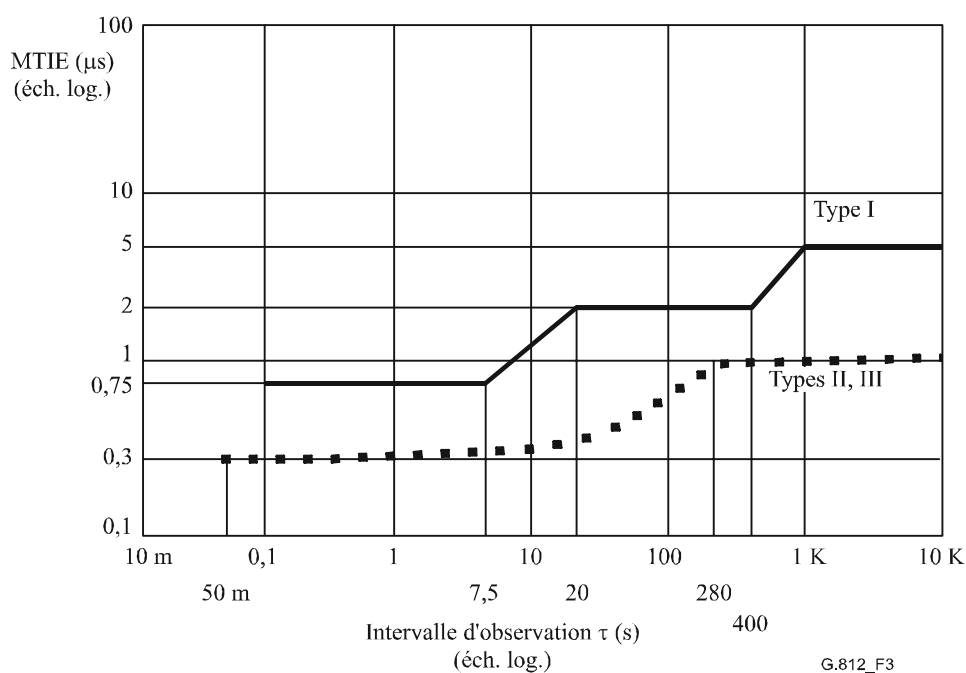


Figure 3/G.812 – Dérapage admissible à l'entrée (MTIE)

9.1.2 Dérapage admissible exprimé sous la forme d'une limite de TDEV

Le dérapage admissible à l'entrée d'une horloge G.812, exprimé sous forme d'une limite de TDEV, est donné dans le Tableau 11 pour les horloges nodales de type I et dans le Tableau 12 pour les horloges nodales de type II ou III.

**Tableau 11/G.812 – Dérapage admissible à l'entrée (TDEV)
pour une horloge nodale de type I**

Limite de TDEV (ns)	Intervalle d'observation τ (s)
34	$0,1 < \tau \leq 20$
$1,7 \times \tau$	$20 < \tau \leq 100$
170	$100 < \tau \leq 1000$
$5,4 \times \tau^{0,5}$	$1000 < \tau \leq 10\ 000$

**Tableau 12/G.812 – Dérapage admissible à l'entrée (TDEV)
pour une horloge nodale de type II ou III**

Limite de TDEV (ns)	Intervalle d'observation τ (s)
FFS	$\tau \leq 0,05$
100	$0,05 < \tau \leq 10$
$31,6 \tau^{0,5}$	$10 < \tau \leq 1000$
FFS	$\tau > 1000$
FFS à étudier (<i>for further study</i>)	

Les conditions résultantes à respecter sont indiquées dans la Figure 4.

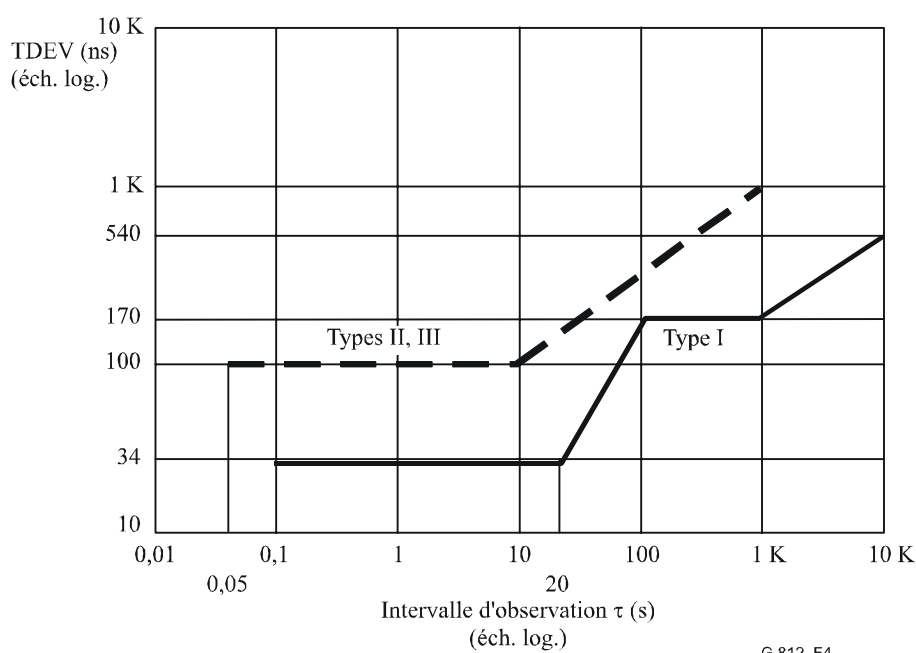


Figure 4/G.812 – Dérapage admissible à l'entrée (TDEV)

9.1.3 Dérapage admissible avec entrée sinusoïdale

Bien que des signaux de test appropriés permettant de vérifier la conformité au gabarit de la Figure 3 soient en cours d'étude, on peut utiliser des signaux de test avec une variation de phase sinusoïdale. Les conditions à respecter pour les horloges nodales de type I sont indiquées dans le Tableau 13 et dans le Tableau 14 pour les horloges de type II ou III.

Tableau 13/G.812 – Limite inférieure du dérapage maximal admissible avec une entrée sinusoïdale pour les horloges nodales de type I

Amplitude de dérapage crête à crête (μs)	Fréquence f (Hz)
5	0,000 012 < f ≤ 0,000 32
$0,001 6 \times f^{-1}$	0,000 32 < f ≤ 0,000 8
2	0,000 8 < f ≤ 0,016
$0,032 \times f^{-1}$	0,016 < f ≤ 0,043
0,75	0,043 < f ≤ 1

Tableau 14/G.812 – Limite inférieure du dérapage maximal admissible avec une entrée sinusoïdale pour une horloge nodale de type II ou III

Amplitude du dérapage crête à crête (μs)	Fréquence f (Hz)
$0,997 + [4 \times 10^{-6}/f]$	0,000 031 8 < f ≤ 0,001 43
$0,3 + [0,001/f]$	0,001 43 < f ≤ 10

Les conditions résultantes à respecter sont indiquées dans la Figure 5.

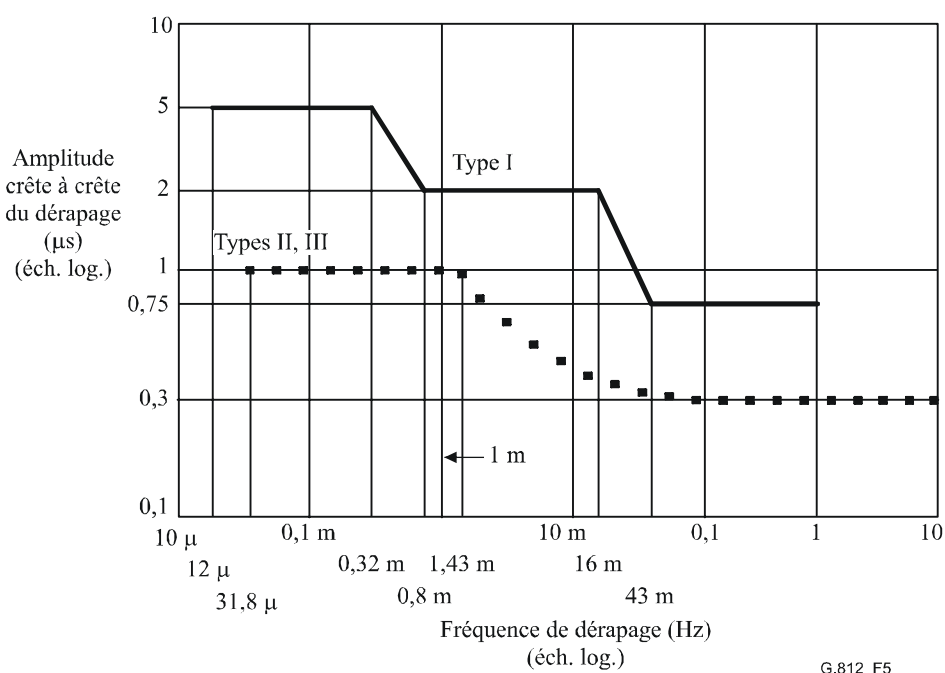


Figure 5/G.812 – Limite inférieure du dérapage maximal admissible avec une entrée sinusoïdale

9.2 Gigue admissible

9.2.1 Gigue admissible pour des interfaces à 2048 kHz et à 2048 kbit/s

La limite inférieure de la gigue maximale admissible avec une entrée sinusoïdale pour une horloge de type I est donnée dans le Tableau 15 et à la Figure 6 pour des accès d'entrée à 2048 kHz et à 2048 kbit/s.

Tableau 15/G.812 – Limite inférieure de gigue maximale admissible pour une entrée sinusoïdale pour une horloge nodale de type I

Amplitude de gigue crête à crête (ns)	Fréquence f (Hz)
750	$1 < f \leq 2400$
$1,8 \times 10^6 f^{-1}$	$2400 < f \leq 18\ 000$
100	$18\ 000 < f < 100\ 000$

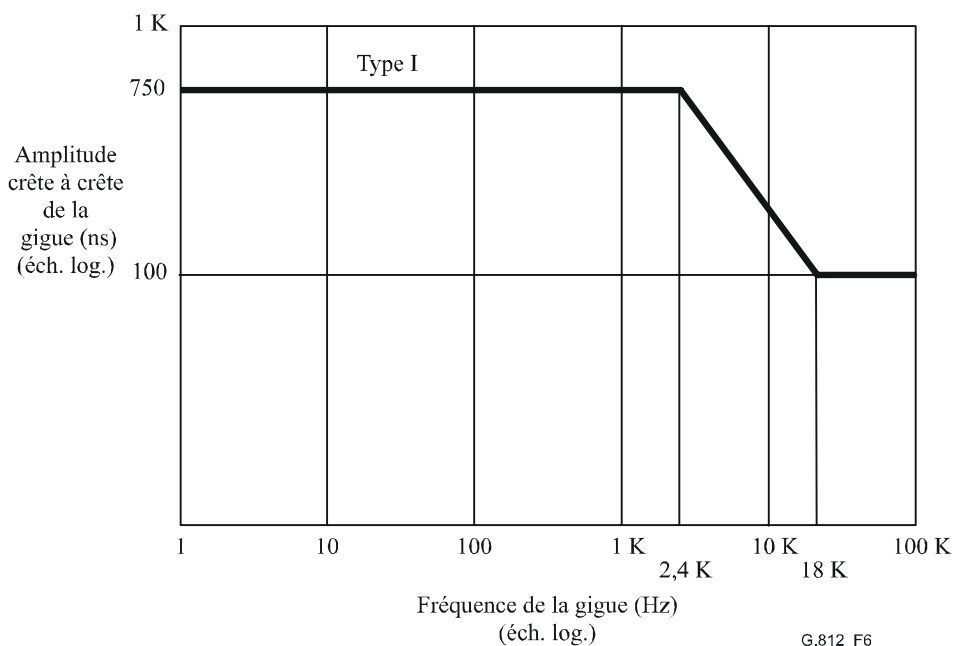


Figure 6/G.812 – Limite inférieure de gigue maximale admissible avec une entrée sinusoïdale pour des horloges nodale de type I

9.2.2 Gigue admissible pour des interfaces à 1544 kbit/s

La limite inférieure de gigue maximale admissible avec une entrée sinusoïdale pour une horloge nodale de type II ou III est donnée dans le Tableau 16 et à la Figure 7 pour des accès d'entrée à 1544 kbit/s.

Tableau 16/G.812 – Limite inférieure de gigue maximale admissible avec une entrée sinusoïdale pour une horloge nodale de type II ou III

Amplitude crête à crête de la gigue (UI)	Fréquence f (Hz)
5	$10 < f \leq 500$
$5 \times [500/f]^{1,411}$	$500 < f \leq 8000$
0,1	$8000 < f \leq 40\ 000$

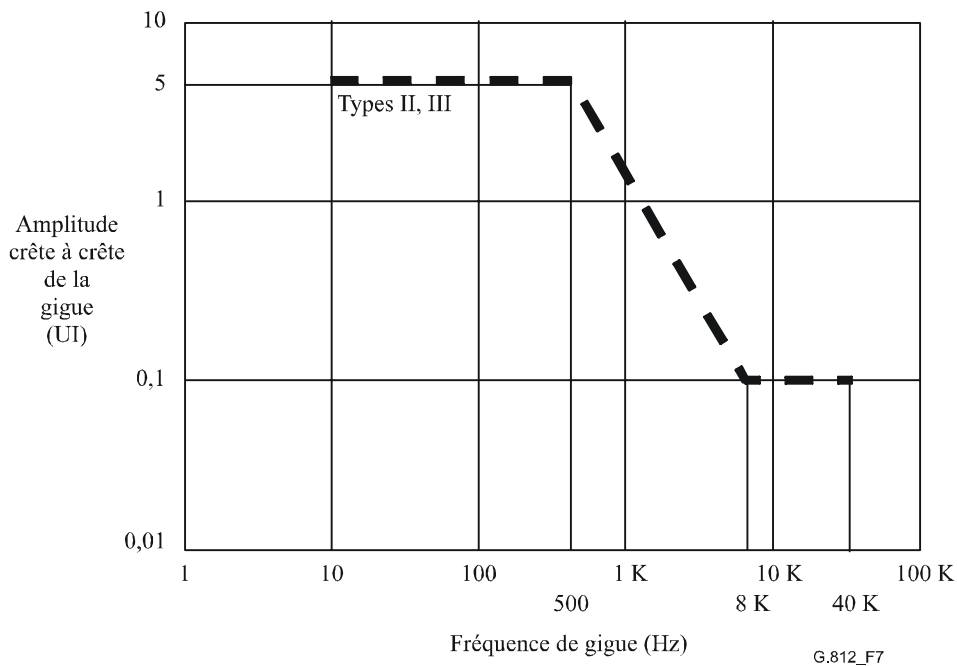


Figure 7/G.812 – Limite inférieure de gigue maximale admissible avec une entrée sinusoïdale pour des horloges nodales de type II ou III

9.2.3 Gigue admissible pour les interfaces STM-N

La gigue admissible pour les interfaces STM-N est indiquée dans la Rec. UIT-T G.825.

10 Transfert de bruit

La caractéristique de transfert d'une horloge asservie détermine ses propriétés en ce qui concerne le transfert des excursions de phase d'entrée par rapport à la modulation de phase. Le transfert de bruit peut être décrit de deux manières différentes:

- a) on peut considérer que l'horloge asservie est un filtre passe-bas pour les différences entre la phase d'entrée réelle et la phase d'entrée théorique de la référence. La bande passante maximale de ce pseudo-filtre passe-bas est définie dans le Tableau 17 ci-dessous ainsi que le gain maximal admissible dans la bande passante.

Tableau 17/G.812 – Conditions relatives au transfert de bruit

	Type I	Type II	Type III
Largeur de bande maximale (m/Hz)	3	1	1
Gain maximal (dB)	0,2	0,2	0,2

Ces valeurs s'appliquent à un modèle d'horloge G.812 linéaire. Toutefois, ce modèle ne doit pas limiter les implémentations;

- b) le transfert de bruit décrit le niveau du bruit observé à la sortie, qui résulte du bruit introduit à l'entrée de l'horloge. L'horloge asservie, lorsqu'elle est soumise à un signal de bruit à large bande modélisé comme indiqué au § 9.1 (c'est-à-dire la spécification de tolérance en termes de TDEV à l'entrée), doit fournir un signal de sortie respectant la limite supérieure spécifiée dans le Tableau 18 pour les horloges nodales de type I et dans le Tableau 19 pour les horloges nodales de type II ou III. Les conditions résultantes à respecter sont indiquées dans

la Figure 8. Ces gabarits ne doivent pas être utilisés pour vérifier le crêtage du gain de phase.

Tableau 18/G.812 – Gabarit de dérapage à la sortie (TDEV) pour des horloges nodales de type I

Limite de TDEV (ns)	Intervalle d'observation τ (s)
3	$0,1 < \tau \leq 13,1$
$0,0176 \tau^2$	$13,1 < \tau \leq 100$
176	$100 < \tau \leq 1000$
$5,58 \tau^{0,5}$	$1000 < \tau \leq 10\,000$

NOTE – Les valeurs données dans le Tableau 18 incluent les effets du crêtage du gain et les effets du bruit intrinsèque.

Tableau 19/G.812 – Gabarit de dérapage à la sortie (TDEV) pour une horloge nodale de type II ou III

Limite de TDEV (ns)	Intervalle d'observation τ (s)
$3,2 \tau^{-0,5}$	$0,1 < \tau \leq 1,44$
$1,86 \tau$	$1,44 < \tau \leq 300$
$32,2 \tau^{0,5}$	$300 < \tau \leq 1000$

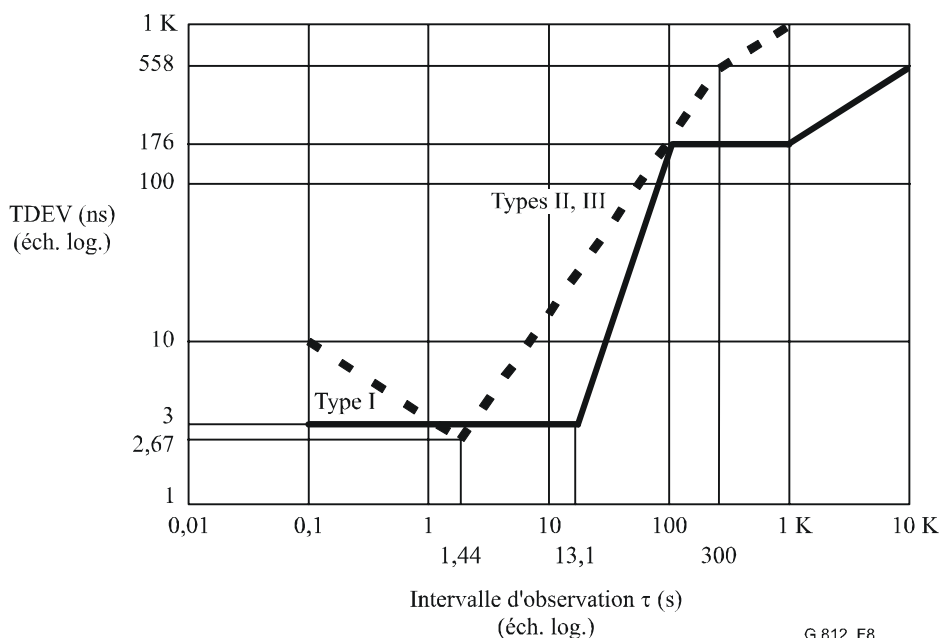


Figure 8/G.812 – Masque de dérapage à la sortie (TDEV)

On trouvera dans l'Appendice II des indications sur les techniques de mesure de ces paramètres.

Les paramètres MTIE et TDEV sont mesurés à travers un filtre de mesure passe-bas du premier ordre équivalant à 10 Hz, avec un temps d'échantillonnage maximal τ_0 de 1/30 de seconde. La période de mesure minimale du paramètre TDEV est de 12 fois la période d'intégration ($T = 12 \tau$).

11 Réactions aux transitoires et performance en mode autonome

Les conditions à respecter décrites dans le présent paragraphe s'appliquent à des situations où le signal d'entrée est affecté par des perturbations ou des défauts de transmission (par exemple, des interruptions brèves, des commutations entre différents signaux de synchronisation, la perte de référence, etc.) qui se traduisent par des transitoires de phase en sortie G.812 (voir le § 12). Les équipements doivent pouvoir supporter de telles perturbations pour éviter les dérangements ou les pannes. Les pannes et les dérangements sont des problèmes courants en transmission.

Pour assurer l'intégrité de la transmission, il est préférable que toutes les variations de phase à la sortie d'une horloge G.812 restent dans les limites indiquées dans les sous-paragraphe ci-après.

11.1 Réaction aux transitoires de phase à court terme

Cette condition reflète la qualité de fonctionnement de l'horloge lorsque la référence d'entrée (sélectionnée) est perdue suite à un dérangement affectant le trajet emprunté par la référence et qu'un deuxième signal d'entrée de référence, calé sur la même horloge de référence, est disponible simultanément ou très peu de temps après la détection du dérangement (par exemple dans des cas de rétablissement autonome).

La limite de gigue en sortie spécifiée au § 8.3 doit être respectée.

11.1.1 Transitoires dans le cas d'horloge nodale de type I (interfaces à 2048 kHz et 2048 kbit/s)

La valeur du paramètre MTIE de l'erreur de phase doit respecter les limites indiquées dans le Tableau 20 et illustrées par la courbe en pointillés de la Figure 9.

Tableau 20/G.812 – Transitoires dans le cas d'horloges nodales de type I (interfaces à 2048 kHz et 2048 kbit/s)

Limite de MTIE (ns)	Intervalle d'observation τ (s)
25	$0,001 < \tau \leq 0,003$
7500τ	$0,003 < \tau \leq 0,016$
$120 + 0,5 \tau$	$0,016 < \tau \leq 240$
240	$240 < \tau \leq 1000$

11.1.2 Transitoires dans le cas d'horloges nodales de type I (interfaces STM-N)

La valeur du paramètre MTIE de l'erreur de phase doit respecter les limites indiquées dans le Tableau 21 et illustrées par la courbe en trait plein de la Figure 9.

Tableau 21/G.812 – Transitoires dans le cas d'horloges nodales de type I (interfaces STM-N)

Limite de MTIE (ns)	Intervalle d'observation τ (s)
7500τ	$0,001 < \tau \leq 0,016$
$120 + 0,5 \tau$	$0,016 < \tau \leq 240$
240	$240 < \tau \leq 10\,000$

11.1.3 Transitoires dans le cas d'horloge nodale de type II ou III (interfaces à 1544 kbit/s)

La valeur du paramètre MTIE de l'erreur de phase doit respecter les limites données dans le Tableau 22 et illustrées par la courbe en pointillés de la Figure 9.

Tableau 22/G.812 – Transitoires pour les horloges nodales de type II ou III (interfaces à 1544 kbit/s)

Limite de MTIE (ns)	Intervalle d'observation τ (s)
$40 + 885 \tau$	$0,014 < \tau \leq 0,16$
182	$0,16 < \tau \leq 280$

11.1.4 Transitoires dans le cas d'horloge nodale de type II ou III (interfaces STM-N)

La valeur du paramètre MTIE de l'erreur de phase doit respecter les limites indiquées dans le Tableau 23 et illustrées par la courbe en trait plein de la Figure 9.

Tableau 23/G.812 – Transitoires dans le cas d'horloge nodale de type II ou III (interfaces STM-N)

Limite de MTIE (ns)	Intervalle d'observation τ (s)
$7,6 + 885 \tau$	$0,014 < \tau \leq 0,16$
150	$0,16 < \tau \leq 280$

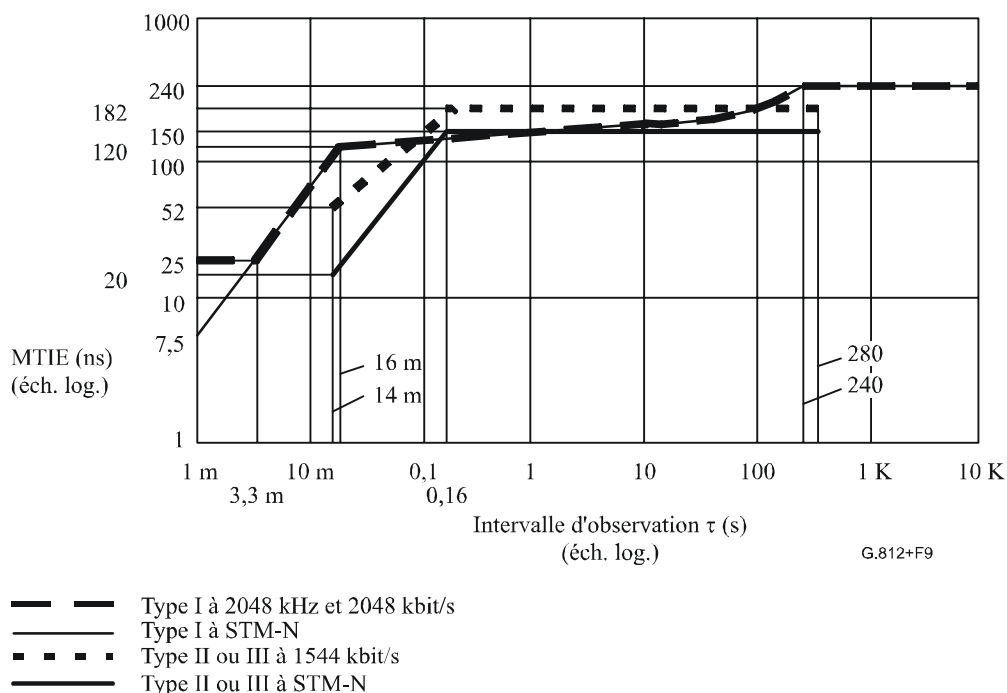


Figure 9/G.812 – Gabarit pour les transitoires de phase à court terme (MTIE)

11.2 Réaction aux transitoires de phase à long terme (mode autonome)

Lorsqu'une horloge G.812 perd toutes ses références, elle passe au mode autonome. Les conditions énoncées ci-après fixent les excursions maximales du signal d'horloge en sortie. En outre, elles

restreignent l'accumulation des variations de phase lorsque des dégradations affectent le signal d'entrée ou de perturbations internes.

11.2.1 Horloges de type I ou III

L'erreur de phase, Δx , à la sortie de l'horloge asservie à partir du moment où il y a perte de référence, doit, sur une période quelconque de S secondes, satisfaire à la condition suivante:

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

La dérivée de $\Delta x(S)$, qui est le décalage fractionnaire en fréquence doit, sur une période quelconque de S secondes, satisfaire à la condition suivante:

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

La dérivée seconde de $\Delta x(S)$, qui est la dérive fractionnaire en fréquence, doit, sur une période quelconque de S secondes, satisfaire à la condition suivante:

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

Lorsqu'on applique les conditions précitées pour la dérivée de $\Delta x(S)$ et la dérivée seconde de $\Delta x(S)$, la période S doit commencer après la fin du transitoire associé au passage au mode autonome. Au cours de cette période transitoire, les conditions applicables aux transitoires et spécifiées au § 11.1 s'appliquent.

NOTE 1 – \mathbf{a}_1 est le décalage initial de fréquence dans des conditions de température constante (± 1 K).

NOTE 2 – \mathbf{a}_2 est un facteur qui tient compte des variations de température après le passage de l'horloge en mode autonome. S'il n'y a pas de variations de température, le terme \mathbf{a}_2 ne doit pas contribuer à l'erreur de phase.

NOTE 3 – \mathbf{b} représente la dérive moyenne en fréquence due au vieillissement. Cette valeur est déterminée à partir des caractéristiques types de vieillissement après 60 jours de fonctionnement continu. Il ne s'agit pas de mesurer cette valeur quotidiennement, étant donné que l'effet de la température sera dominant.

NOTE 4 – Le décalage de phase \mathbf{c} tient compte de tout déphasage supplémentaire qui peut apparaître lors du passage à l'état autonome.

NOTE 5 – \mathbf{d} représente la vitesse de variation de la dérive en fréquence temporaire maximale à température constante admissible en mode autonome. Cependant, il n'est pas exigé que \mathbf{d} et \mathbf{b} soient égaux.

Les erreurs de phase admissibles pour différents types d'horloges G.812 sont spécifiées dans le Tableau 24.

Tableau 24/G.812 – Spécifications relatives à la réaction aux transitoires en mode autonome

	Type I	Type III
\mathbf{a}_1 (ns/s)	0,5	1,0
\mathbf{a}_2 (ns/s)	2	10
\mathbf{b} (ns/s ²)	$2,3 \times 10^{-6}$	$1,16 \times 10^{-5}$
\mathbf{c} (ns)	60	150
\mathbf{d} (ns/s ²)	NA	$1,16 \times 10^{-5}$
NA non applicable		

Au cours de la phase transitoire de passage au mode autonome, le décalage de fréquence temporaire sur les interfaces de sortie SDH des horloges nodales de type I ne doit pas dépasser 7,5 ppm.

11.2.2 Horloges de type II

La dérivée de la phase $\Delta x(S)$, le décalage de fréquence fractionnaire, doit pendant une période quelconque de S secondes, satisfaire à la condition suivante:

$$|d(\Delta x(S))/dS| \leq Y(S)$$

dans laquelle Y(S) est le décalage maximal fractionnaire de fréquence donné dans le Tableau 25 et représenté à la Figure 10 ci-dessous. Y(S) n'apparaît qu'au bout de 5000 secondes après le passage au mode autonome, c'est-à-dire que Y(S) n'est pas défini pour S inférieur à 5000 secondes, afin de s'assurer que tout transitoire associé au passage au mode autonome n'existe plus. Pendant les 5000 premières secondes, les conditions concernant les transitoires du § 11.1 (Tableau 22 et Figure 9) s'appliquent.

Tableau 25/G.812 – Décalage maximal fractionnaire de fréquence Y(S) pour une horloge de type II en mode autonome

Décalage maximal fractionnaire en fréquence Y(S) (ns/s)	Temps S (s)
ND	$0 < S \leq 5000$
0,1	$5000 < S \leq 86\,400$
$1,16 \times 10^{-6} S$	$86\,400 < S \leq 1,38 \times 10^7$
16	$1,38 \times 10^7 < S \leq 3,2 \times 10^7$
ND Non défini	

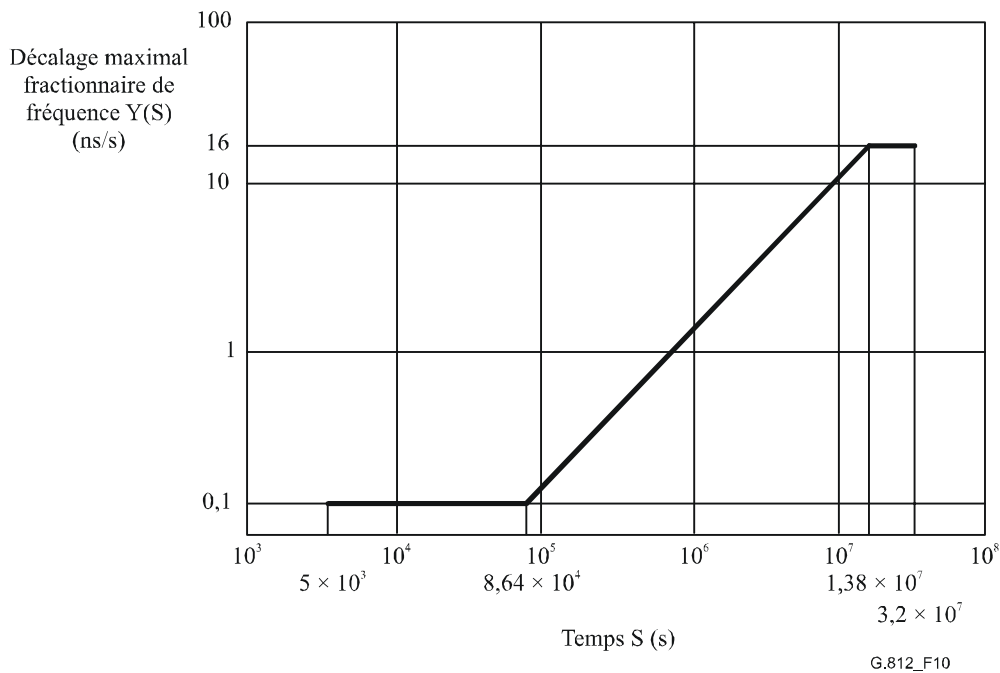


Figure 10/G.812 – Décalage maximal fractionnaire de fréquence Y(S) pour une horloge de type II en mode autonome

11.3 Variation de la phase suite à des interruptions du signal d'entrée

Pour des interruptions à court terme des signaux de synchronisation d'entrée, qui ne provoquent pas de commutation de la référence, la variation de phase à la sortie appelle un complément d'étude.

11.4 Discontinuité de phase

Dans les cas peu fréquents d'opérations de test ou de réorganisation internes dans l'horloge asservie, les transitoires de phase à la sortie des horloges G.812 doivent respecter les spécifications en termes de MTIE données dans le Tableau 26 pour les horloges nodales de type I et dans le Tableau 27 pour les horloges nodales de type II ou III.

**Tableau 26/G.812 – Transitoires de phase en sortie (MTIE)
pour une horloge nodale de type I**

Limite de MTIE (ns)	Intervalle d'observation τ (s)
60	$\tau \leq 0,001$
120	$0,001 < \tau \leq 4$
240	$\tau > 4$

Pour une horloge G.812 de type I, intégrée dans un équipement SDH, le décalage temporaire de fréquence au niveau de chaque interface de sortie STM-N ne doit jamais dépasser 7,5 ppm.

**Tableau 27/G.812 – Transitoires de phase en sortie (MTIE)
pour des horloges nodales de type II ou III**

Limite de MTIE (ns)	Intervalle d'observation τ (s)
61 000 τ	$0,001\ 33 < \tau \leq 0,016\ 4$
1000	$0,016\ 4 < \tau$

Les conditions résultantes à respecter sont indiquées dans la Figure 11.

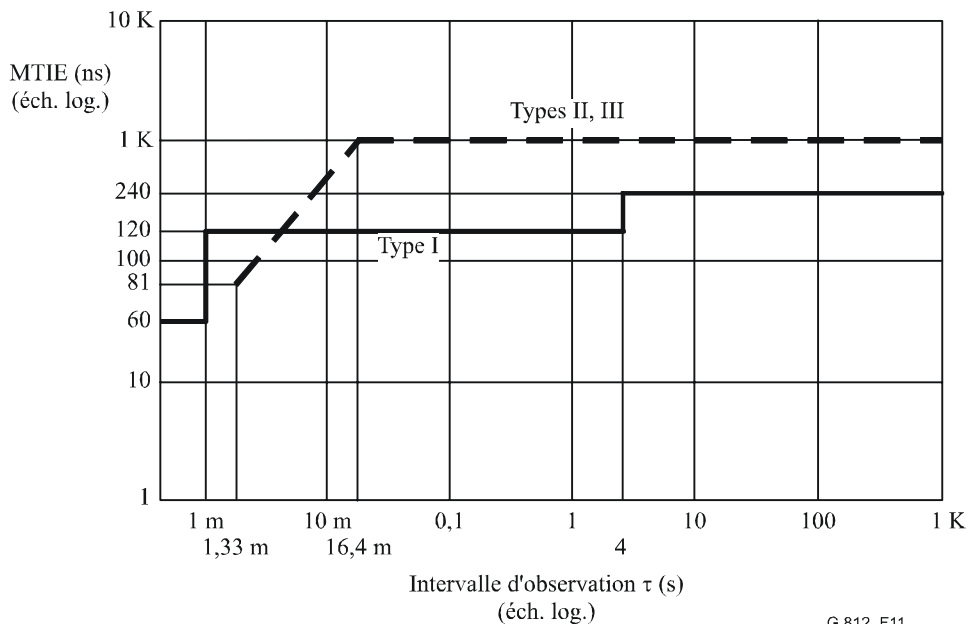


Figure 11/G.812 – Conditions à respecter en matière de transitoire de phase de sortie (MTIE)

12 Interfaces

Les conditions à respecter spécifiées dans la présente Recommandation concernent des points de référence situés dans des éléments de réseau (NE, *network element*) dans lesquels les horloges sont intégrées et qui ne sont donc pas nécessairement accessibles pour les mesures ou l'analyse par l'utilisateur. Par conséquent, la performance de l'horloge G.812 n'est pas définie au niveau de ces points de référence internes, mais plutôt au niveau des interfaces externes de l'équipement. L'entrée et la sortie externes sont:

- des interfaces à 1544 kbit/s conformes à la Rec. UIT-T G.703;
- des interfaces externes à 2048 kHz conformes à la Rec. UIT-T G.703;
- des interfaces à 2048 kbit/s conformes à la Rec. UIT-T G.703;
- des interfaces de trafic STM-N conformes aux Recommandations UIT-T G.703 et G.957.

Il convient de noter que certains équipements n'implémentent pas toutes ces interfaces. Ces interfaces doivent être conformes aux conditions additionnelles en matière de gigue et de dérapage définies dans la présente Recommandation.

Annexe A

Spécifications applicables aux horloges de types IV, V et VI

L'horloge de type V et l'horloge de type VI sont respectivement l'horloge de nœud de transit et l'horloge nodale locale étudiées dans la version de 1988 de la présente Recommandation.

A.1 Précision de fréquence

Dans des conditions de fonctionnement en mode autonome prolongé, la précision de fréquence à la sortie des différents types d'horloge nodale ne doit pas dépasser les valeurs qui figurent dans le Tableau A.1 par rapport à une référence alignée sur une horloge de référence primaire, pendant la période de temps T indiquée dans le même tableau.

Tableau A.1/G.812 – Spécifications de précision de fréquence de sortie

	Type IV	Type V	Type VI
Précision	$4,6 \times 10^{-6}$	NA	NA
Période T	1 an	NA	NA

NA Non applicable
NOTE – La période de temps T est comptée à partir d'un fonctionnement continu en mode synchronisé de 30 jours.

A.2 Plages d'accrochage, de maintien et de décrochage

Les plages minimales d'accrochage, de maintien et de décrochage des différents types d'horloge nodale doivent être conformes aux valeurs indiquées dans le Tableau A.2, indépendamment du décalage de fréquence de l'oscillateur interne.

Tableau A.2/G.812 – Spécifications relatives à l'accrochage, au maintien et au décrochage

	Type IV	Type V	Type VI
Accrochage	$4,6 \times 10^{-6}$	ND	ND
Maintien	$4,6 \times 10^{-6}$	ND	ND
Décrochage	NA	ND	ND
NA Non applicable			
ND Non défini			

A.3 Bruit

Le bruit produit par une horloge asservie correspond au bruit de phase présent à la sortie de l'horloge lorsqu'un signal de référence parfait est appliqué à son entrée ou lorsqu'elle fonctionne en mode autonome (voir § A.6.2). Pour les tests pratiques, il faut que la référence ait un niveau de performance au moins dix fois plus stable que les spécifications de sortie. La capacité d'une horloge à limiter ce bruit est décrite par sa stabilité de fréquence. Les mesures des paramètres MTIE et TDEV sont utiles pour caractériser la production de bruit.

Les paramètres MTIE et TDEV sont mesurés à travers un filtre de mesure passe-bas du premier ordre équivalant à 10 Hz, avec un temps d'échantillonnage maximal τ_0 de 1/30 de seconde. La période de mesure minimale du paramètre TDEV est égale à douze fois la période d'intégration ($T = 12 \tau$).

A.3.1 Dérapage en mode verrouillé

Lorsque l'horloge asservie fonctionne en mode verrouillé, la valeur du paramètre MTIE à température constante (± 1 K) mesuré en utilisant la configuration d'horloge synchronisée définie à la Figure 1-a/G.810 doit respecter les limites données dans les Tableaux A.3 et A.4 pour les différents types d'horloge nodale.

Tableau A.3/G.812 – Dérapage admissible (MTIE) pour une horloge nodale de type IV à température constante (± 1 K)

Limite de MTIE (ns)	Intervalle d'observation τ (s)
40	$0,1 < \tau \leq 1$
$40 \times \tau^{0,4}$	$1 < \tau \leq 10$
100	$\tau > 10$

Tableau A.4/G.812 – Dérapage admissible (MTIE) pour une horloge nodale de type V ou VI à température constante (± 1 K)

Limite de MTIE (ns)	Intervalle d'observation τ (s)
FFS	$0,05 < \tau \leq 100$
1000	$\tau > 100$
FFS A étudier (<i>for further study</i>)	

Les conditions résultantes à respecter sont représentées à la Figure A.1.

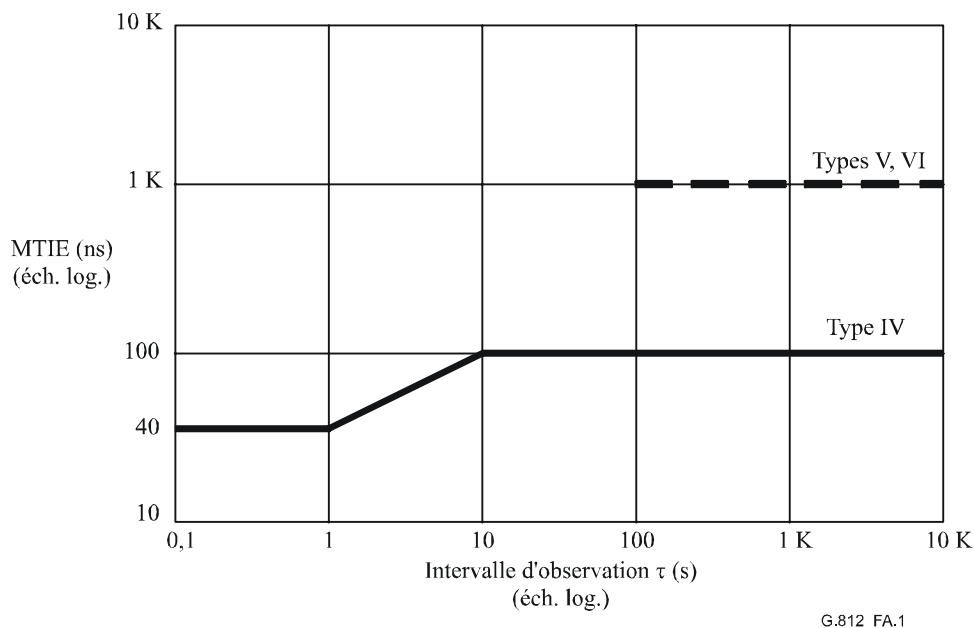


Figure A.1/G.812 – Dérapage admissible (MTIE) à température constante (± 1 K)

Lorsque l'horloge nodale fonctionne en mode verrouillé, la valeur du paramètre TDEV à température constante (± 1 K) mesuré en utilisant la configuration d'horloge synchronisée définie à la Figure 1-a/G.810, doit respecter les limites données dans les Tableaux A.5 et A.6 pour différents types d'horloge nodale.

Tableau A.5/G.812 – Dérapage admissible (TDEV) pour une horloge nodale de type IV à température constante (± 1 K)

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

Tableau A.6/G.812 – Dérapage produit (TDEV) pour une horloge nodale de type V ou VI à température constante (± 1 K)

Limite de TDEV (ns)	Intervalle d'observation τ (s)
FFS	$0,1 < \tau < 10\ 000$
FFS A étudier (<i>for further study</i>)	

Les conditions résultantes à respecter sont indiquées dans la Figure A.2.

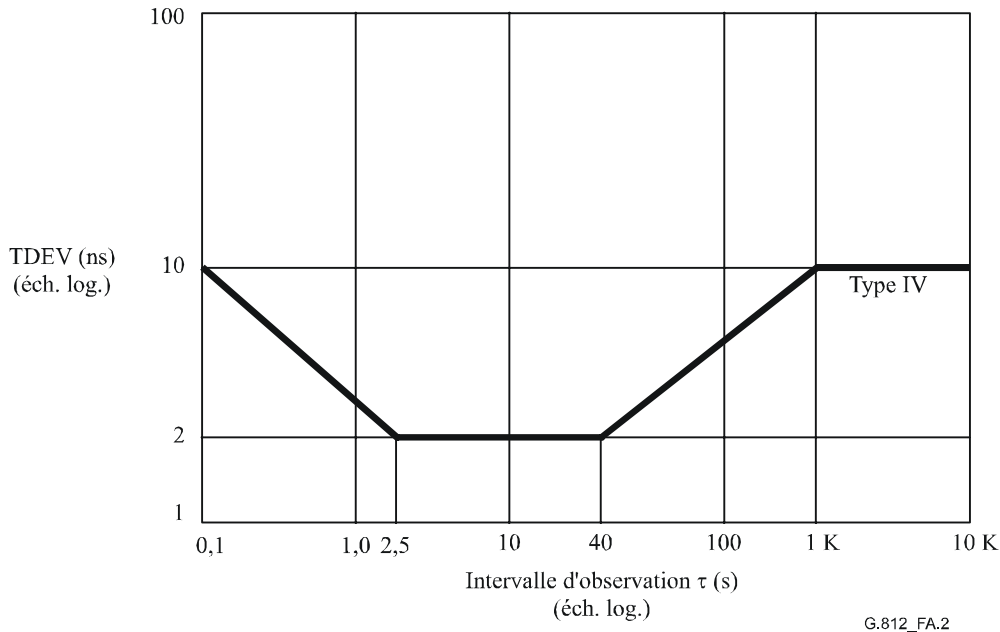


Figure A.2/G.812 – Dérapage admissible (TDEV) à température constante

A.3.2 Dérapage en mode non verrouillé

Lorsqu'une horloge n'est pas verrouillée sur une référence de synchronisation, les composantes du bruit aléatoire sont négligeables par rapport aux effets déterministes tel le décalage initial de fréquence. Par conséquent, il est tenu compte des effets du dérapage en mode non verrouillé au § A.6.2.

A.3.3 Gigue

Alors que la plupart des conditions à respecter spécifiées dans la présente Recommandation sont indépendantes de l'interface de sortie sur laquelle elles sont mesurées, il n'en est pas ainsi de la gigue produite; les conditions à respecter en matière de gigue produite sont établies à partir de Recommandations existantes qui fixent différentes limites pour différents débits d'interface. Ces conditions sont énoncées séparément pour les interfaces identifiées au § A.7. Dans un souci d'homogénéité avec les autres conditions requises en matière de gigue, les valeurs sont données en UI crête à crête, dans lesquelles UI correspond au débit réciproque de l'interface.

Il convient de noter que toutes les caractéristiques des filtres spécifiées ici, pour les interfaces STM-N ont été harmonisées avec les caractéristiques des filtres pour les limites de réseau telles que spécifiées dans la Rec. UIT-T G.825.

NOTE – Compte tenu de la nature stochastique de la gigue, les valeurs crête à crête données ici peuvent éventuellement être dépassées, c'est pourquoi les conditions fixées doivent être respectées pour au moins 99% de toutes les mesures effectuées.

A.3.3.1 Gigue de sortie pour des interfaces à 2048 kHz et 2048 kbit/s

En l'absence de gigue d'entrée, la gigue intrinsèque au niveau des interfaces de sortie à 2048 kHz et 2048 kbit/s mesurée sur un intervalle de 60 secondes ne doit pas dépasser 0,05 UI crête à crête lorsqu'elle est mesurée à travers un filtre passe-bande unipolaire dont les fréquences de coupure sont de 20 Hz et de 100 kHz.

A.3.3.2 Gigue de sortie pour une interface à 1544 kbit/s

En l'absence de gigue d'entrée, la gigue intrinsèque au niveau d'une interface de sortie à 1544 kbit/s ne doit pas dépasser 0,05 UI crête à crête lorsqu'elle est mesurée à travers un filtre passe-bande unipolaire dont les fréquences de transition sont de 10 Hz et de 40 kHz (l'intervalle de mesure appelle un complément d'étude).

A.3.3.3 Gigue de sortie pour une interface STM-N

En l'absence de gigue d'entrée à l'interface de synchronisation, la gigue intrinsèque au niveau des interfaces optiques de sortie STM-N mesurée sur un intervalle de 60 secondes ne doit pas dépasser les limites indiquées dans le Tableau A.7 ci-dessous. La gigue admissible sur une interface électrique STM-1 (CMI) est également donnée dans le Tableau A.7 ci-dessous.

La décroissance du filtre de mesure à la fréquence de coupure inférieure doit être de 20 dB/décade et de 60 dB/décade à la fréquence de coupure supérieure. La caractéristique de décroissance de la fréquence de coupure supérieure du filtre appelle un complément d'étude.

Tableau A.7/G.812 – Gigue produite sur les interfaces STM-N

Interface	Filtre de mesure (fréquences à -3 dB)	Amplitude crête à crête (UI)
STM-1 électrique	500 Hz à 1,3 MHz	0,50
	65 kHz à 1,3 MHz	0,075
STM-1 optique	500 Hz à 1,3 MHz	0,50
	65 kHz à 1,3 MHz	0,10
STM-4	1000 Hz à 5 MHz	0,50
	250 kHz à 5 MHz	0,10
STM-16	5000 Hz à 20 MHz	0,50
	1 MHz à 20 MHz	0,10

Pour une interface STM-1: 1 UI = 6,43 ns.
Pour une interface STM-4: 1 UI = 1,61 ns.
Pour une interface STM-16: 1 UI = 0,40 ns.

A.4 Bruit admissible

Le bruit admissible pour une horloge G.812 correspond à la limite inférieure du niveau maximal de bruit de phase que l'horloge peut supporter à son entrée tout en:

- maintenant l'horloge dans les limites de performance prescrites. Les limites exactes de performance appellent un complément d'étude;
- ne provoquant pas le déclenchement d'alarmes;
- ne provoquant pas de commutation de référence par l'horloge;
- ne provoquant pas le passage de l'horloge en mode autonome.

En général, le bruit admissible pour une horloge G.812 est le même que celui en limite de réseau pour l'interface de synchronisation qui permet de maintenir une performance acceptable. Toutefois, la limite réseau pour l'interface de synchronisation peut être différente selon l'application. Par conséquent, afin de déterminer le bruit admissible d'une horloge asservie, la limite réseau correspondant au cas le plus défavorable doit être utilisée. L'Appendice I/G.813 contient un texte explicatif des différentes limites réseau permettant d'obtenir un traitement acceptable de la charge utile.

Le dérapage et la gigue admissibles donnés aux § A.4.1 et A.4.2 représentent les valeurs les plus défavorables pour une interface acheminant la synchronisation. Le signal TDEV utilisé pour les tests de conformité doit être produit en ajoutant des sources de bruit blanc gaussien, un filtrage ayant été appliqué à chacune de ces sources pour obtenir le type de bruit recherché avec l'amplitude requise. Des indications sont données dans l'Appendice II.

Les paramètres MTIE et TDEV sont mesurés avec un filtre de mesure passe-bas du premier ordre équivalant à 10 Hz, et un temps d'échantillonnage maximal τ_0 de 1/30 de seconde. La période de mesure minimale du paramètre TDEV est de douze fois la période d'intégration ($T = 12 \tau$).

A.4.1 Dérapage admissible

Le dérapage admissible à l'entrée d'une horloge G.812 exprimé en termes de limites de MTIE est donné dans le Tableau A.8 pour des horloges nodales de type IV.

Tableau A.8/G.812 – Dérapage admissible à l'entrée d'une horloge nodale de type IV (MTIE)

Limite de MTIE (μs)	Intervalle d'observation τ (s)
$0,3 + 0,0025 \tau$	$0,05 < \tau \leq 280$
$0,997 + 0,00001 \tau$	$\tau > 280$

Les conditions résultantes à respecter sont représentées à la Figure A.3.

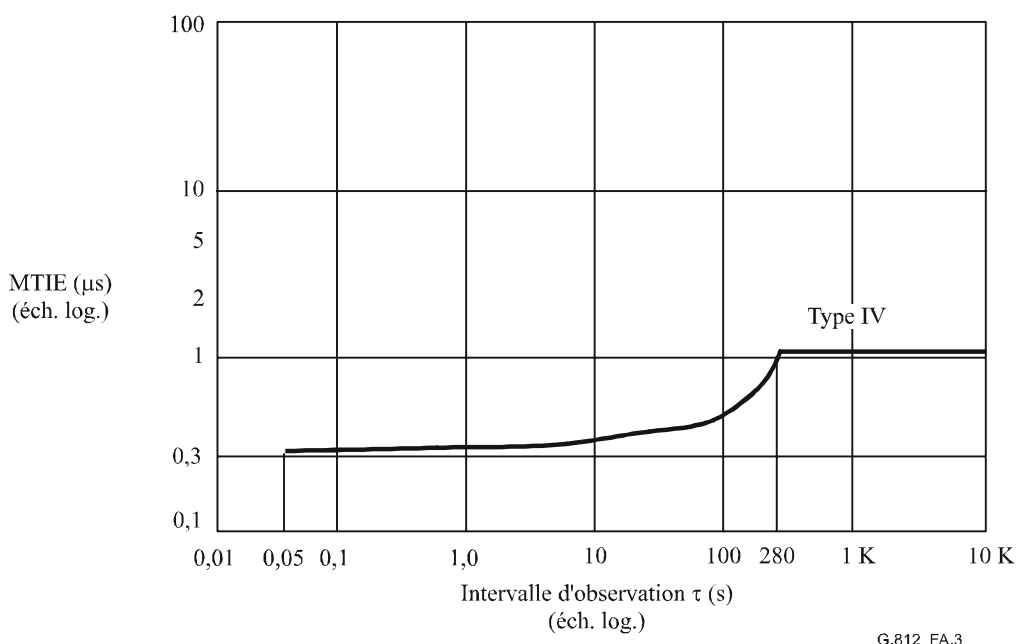


Figure A.3/G.812 – Gigue admissible à l'entrée d'une horloge nodale de type IV (MTIE)

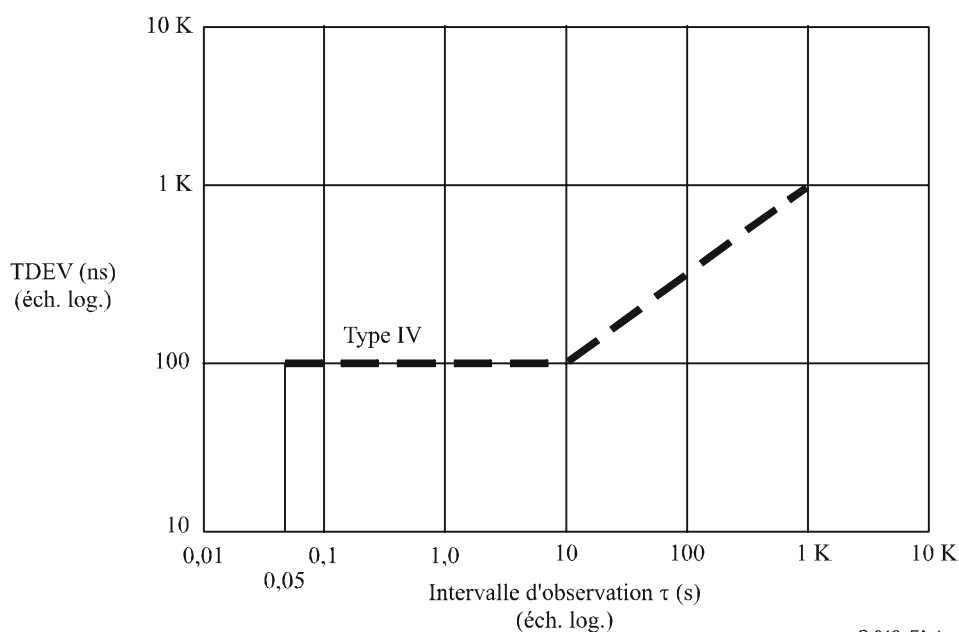
Le dérapage admissible à l'entrée en termes de MTIE pour des horloges de types V et VI n'est pas défini.

Le dérapage admissible à l'entrée d'une horloge G.812 exprimé en termes de limites de TDEV est donné dans le Tableau A.9 pour des horloges nodales de type IV.

**Tableau A.9/G.812 – Dérapage admissible à l'entrée (TDEV)
d'une horloge nodale de type IV**

Limite de TDEV (ns)	Intervalle d'observation τ (s)
FFS	$\tau \leq 0,05$
100	$0,05 < \tau \leq 10$
$31,6 \tau^{0,5}$	$10 < \tau \leq 1000$
FFS	$\tau > 1000$
FFS A étudier (<i>for further study</i>)	

Les conditions résultantes à respecter sont également indiquées dans la Figure A.4.



G.812_FA.4

**Figure A.4/G.812 – Dérapage admissible à l'entrée d'une
horloge nodale de type IV (TDEV)**

Le dérapage à l'entrée en termes de TDEV pour les horloges de types V et VI n'est pas défini.

Bien que des signaux de test appropriés permettant de vérifier la conformité au gabarit de la Figure A.3 soient en cours d'étude, on peut utiliser des signaux de test avec une variation de phase sinusoïdale. Les conditions à respecter pour les horloges nodales de type IV sont indiquées dans le Tableau A.10.

**Tableau A.10/G.812 – Limite inférieure du dérapage sinusoïdal maximal admissible
à l'entrée d'une horloge nodale de type IV**

Amplitude de dérapage crête à crête (μ s)	Fréquence f (Hz)
$0,997 + [4 \times 10^{-6}/f]$	$0,000\ 031\ 8 < f \leq 0,001\ 43$
$0,3 + [0,001/f]$	$0,001\ 43 < f \leq 10$

Les conditions résultantes à respecter sont également indiquées dans la Figure A.5.

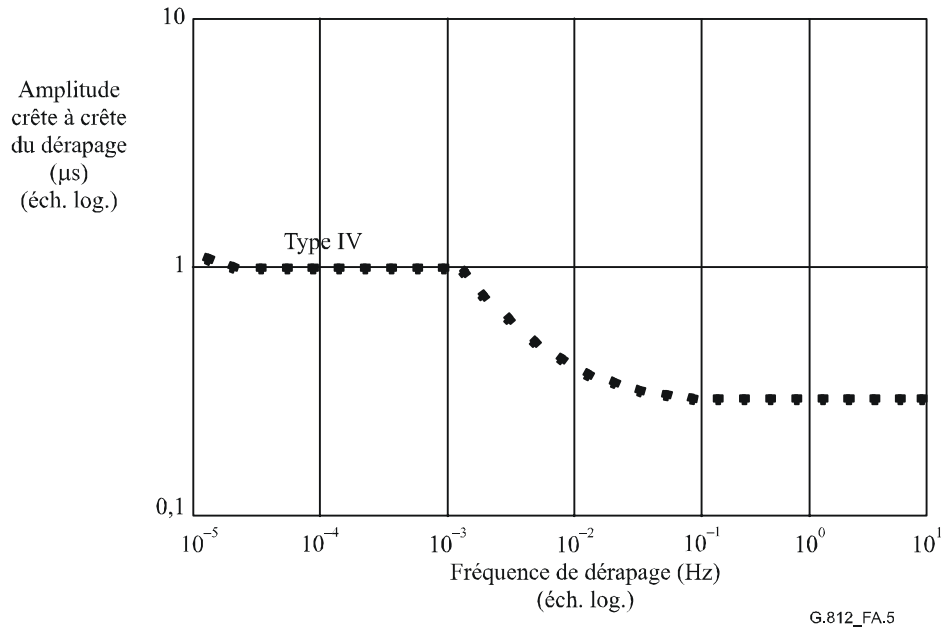


Figure A.5/G.812 – Limite inférieure du dérapage sinusoidal maximal tolérable admissible à l'entrée d'une horloge nodale de type IV

Les limites inférieures de gigue d'entrée sinusoidal maximale tolérable pour les horloges de types V et VI ne sont pas définies.

A.4.2 Gigue admissible

Les limites inférieures de la gigue sinusoidal maximale admissible à l'entrée d'une horloge nodale de type IV sont données dans le Tableau A.11 et à la Figure A.6, pour des accès d'entrée à 1544 kbit/s.

Tableau A.11/G.812 – Limites inférieures de la gigue sinusoidal maximale admissible à l'entrée d'une horloge nodale de type IV

Amplitude de gigue crête à crête (UI)	Fréquence f (Hz)
5	$10 < f \leq 500$
$5 \times [500/f]^{1,411}$	$500 < f \leq 8000$
0,1	$8000 < f \leq 40\ 000$

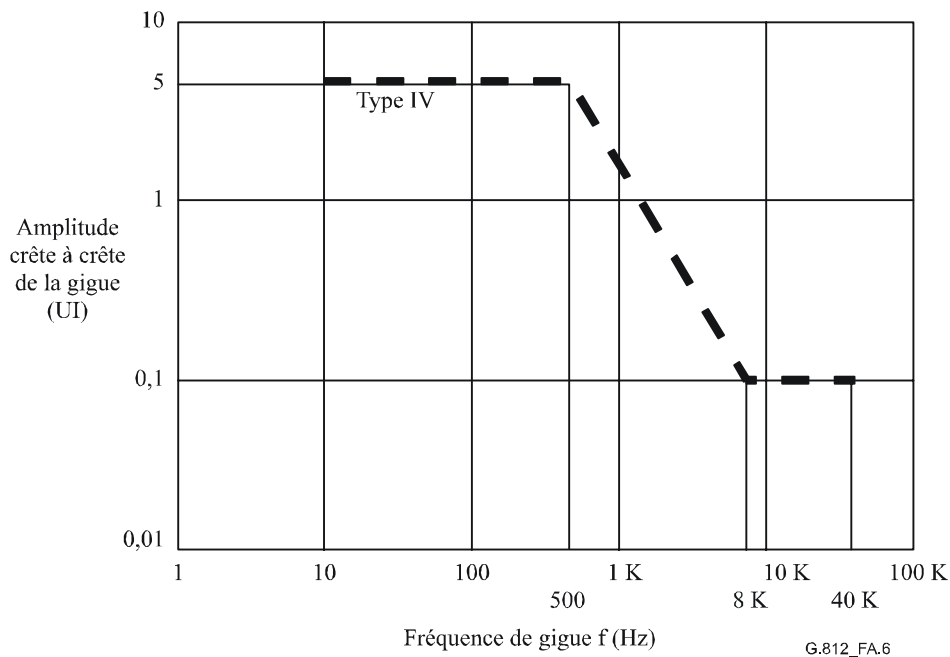


Figure A.6/G.812 – Limites inférieures de la gigue sinusoïdale maximale admissible à l'entrée d'une horloge nodale de type IV

Les limites inférieures de la gigue sinusoïdale maximale admissible à l'entrée d'une horloge de types V et VI ne sont pas définies.

A.5 Transfert de bruit

La caractéristique de transfert d'une horloge asservie détermine ses propriétés en ce qui concerne le transfert des excursions de la phase d'entrée par rapport à la modulation de phase. Le transfert de bruit peut être décrit de deux manières différentes:

- a) on peut considérer que l'horloge asservie est un filtre passe-bas pour les différences entre la phase d'entrée réelle et la phase d'entrée théorique de la référence. La bande passante maximale de ce pseudo-filtre passe-bas est définie dans le Tableau A.12 ci-dessous, ainsi que le gain maximal admissible dans la bande passante.

Tableau A.12/G.812 – Conditions relatives au transfert de bruit

	Type IV	Type V	Type VI
Largeur de bande maximale (Hz)	3	0,1 (Note)	0,1 (Note)
Gain maximal (dB)	0,2	0,2 (Note)	0,2 (Note)
NOTE – Ces valeurs sont extraites de la Rec. UIT-T Q.551.			

Ces valeurs s'appliquent à un modèle d'horloge G.812 linéaire. Toutefois, ce modèle ne doit pas limiter les implémentations.

- b) le transfert de bruit décrit le niveau du bruit observé à la sortie, qui résulte du bruit appliqué à l'entrée de l'horloge. L'horloge asservie, lorsqu'elle est soumise à un signal de bruit à large bande tel que décrit au § A.4 (c'est-à-dire la spécification de tolérance en termes de TDEV) à l'entrée doit fournir un signal de sortie respectant la limite supérieure spécifiée dans le Tableau A.13 pour les horloges nodales de type IV. La caractéristique de transfert du dérapage en termes de TDEV pour les horloges nodales de type V ou VI n'est pas définie.

Les conditions résultantes à respecter sont indiquées dans la Figure A.7. Ce gabarit ne doit pas être utilisé pour vérifier le crêtage du gain de phase.

Tableau A.13/G.812 – Gabarit de dérapage à la sortie des horloges nodales de type IV (TDEV)

Limite de TDEV (ns)	Intervalle d'observation τ (s)
1020 τ	$0,05 < \tau \leq 0,1$
102	$0,1 < \tau \leq 10$
$32,2 \tau^{0,5}$	$10 < \tau \leq 1000$

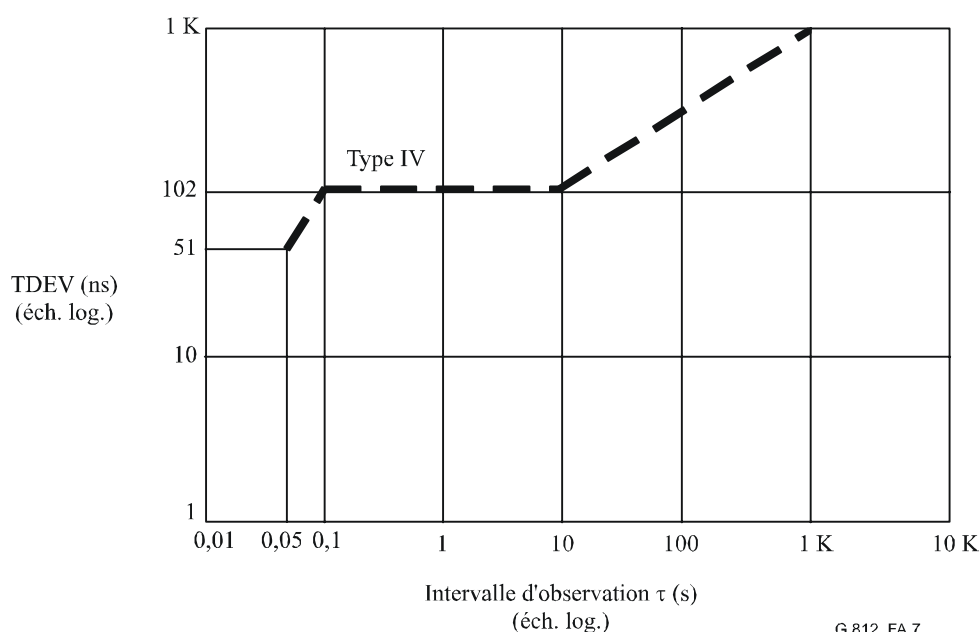


Figure A.7/G.812 – Gabarit de dérapage (TDEV)

On trouvera des indications sur les techniques de mesure de ces paramètres dans l'Appendice II.

Les paramètres MTIE et TDEV sont mesurés à travers un filtre de mesure passe-bas du premier ordre équivalant à 10 Hz avec un temps d'échantillonnage maximal τ_0 de 1/30 de seconde. La période de mesure minimale du paramètre TDEV est de douze fois la période d'intégration ($T = 12 \tau$).

A.6 Réaction aux transitoires et performance en mode autonome

Les conditions à respecter décrites dans ce sous-paragraphe s'appliquent à des situations dans lesquelles le signal d'entrée est affecté par des perturbations ou des défauts de transmission (par exemple interruptions brèves, commutation entre différents signaux de synchronisation, perte de référence, etc.) qui se traduisent par des transitoires de phase à l'entrée G.812 (voir § A.7). Les équipements doivent pouvoir supporter de telles perturbations pour éviter les dérangements ou les pannes. Les pannes et les dérangements sont des problèmes courants en transmission.

Pour assurer l'intégrité de la transmission, il est préférable que toutes les variations de phase à la sortie d'une horloge G.812 restent dans les limites de niveau indiquées dans les sous-paragraphe ci-après.

A.6.1 Réaction aux transitoires de phase à court terme

Cette condition reflète la performance de l'horloge lorsque la référence d'entrée (sélectionnée) est perdue suite à un dérangement affectant le trajet emprunté par le signal de référence et qu'un second signal d'entrée de référence, aligné sur la même horloge de référence, est disponible simultanément ou très peu de temps après la détection de la panne (par exemple dans des cas de rétablissement autonome).

La limite de gigue en sortie spécifiée au § A.3.3 doit être respectée.

A.6.1.1 Transitoires dans le cas d'horloges nodales de type IV (interfaces à 1544 kbit/s)

La valeur du paramètre MTIE de l'erreur de phase doit respecter les limites indiquées dans le Tableau A.14 et illustrées par la courbe en pointillés de la Figure A.8.

Tableau A.14/G.812 – Transitoires dans le cas d'horloges nodales de type IV (interfaces à 1544 kbit/s)

Limite de MTIE (ns)	Intervalle d'observation τ (s)
61 000 τ	0,001 33 $\leq \tau \leq$ 0,016 4
1000	$\tau >$ 0,016 4

A.6.1.2 Transitoires dans le cas d'horloges nodales de type IV (interfaces STM-N)

La valeur du paramètre MTIE de l'erreur de phase ne doit pas dépasser les limites indiquées dans le Tableau A.15 et illustrées par la courbe en trait plein de la Figure A.8.

Tableau A.15/G.812 – Transitoires dans le cas d'horloges nodales de type IV (interfaces STM-N)

Limite de MTIE (ns)	Intervalle d'observation τ (s)
7,6 + 885 τ	0,014 < $\tau \leq$ 0,5
300 + 300 τ	0,5 < $\tau \leq$ 2,33
1000	2,33 < $\tau \leq$ 280

A.6.1.3 Transitoires pour horloges nodales de types V et VI (interfaces à 2048 kHz et à 2048 kbit/s)

La valeur du paramètre MTIE de l'erreur de phase ne doit pas dépasser les limites données dans le Tableau A.16 et illustrées par la courbe en pointillés de la Figure A.8.

Tableau A.16/G.812 – Transitoires dans le cas d'horloges nodales des types V et VI (interfaces à 2048 kHz et à 2048 kbit/s)

Limite de MTIE (ns)	Intervalle d'observation τ (s)
25	0,001 < $\tau \leq$ 0,003 3
7500 τ	0,003 3 < $\tau \leq$ 0,016
120 + 0,5 τ	0,016 < $\tau \leq$ 240
240	240 < $\tau \leq$ 10 000

A.6.1.4 Transitoires dans le cas d'horloges nodales de type V ou VI (interfaces STM-N)

La valeur du MTIE de l'erreur de phase ne doit pas dépasser les limites indiquées dans le Tableau A.17 et illustrées par la courbe en trait plein de la Figure A.8.

Tableau A.17/G.812 – Transitoires dans le cas d'horloges nodales de type V ou VI (interfaces STM-N)

Limite de MTIE (ns)	Intervalle d'observation τ (s)
7500τ	$0,001 < \tau \leq 0,016$
$120 + 0,5 \tau$	$0,016 < \tau \leq 240$
240	$240 < \tau \leq 10\ 000$

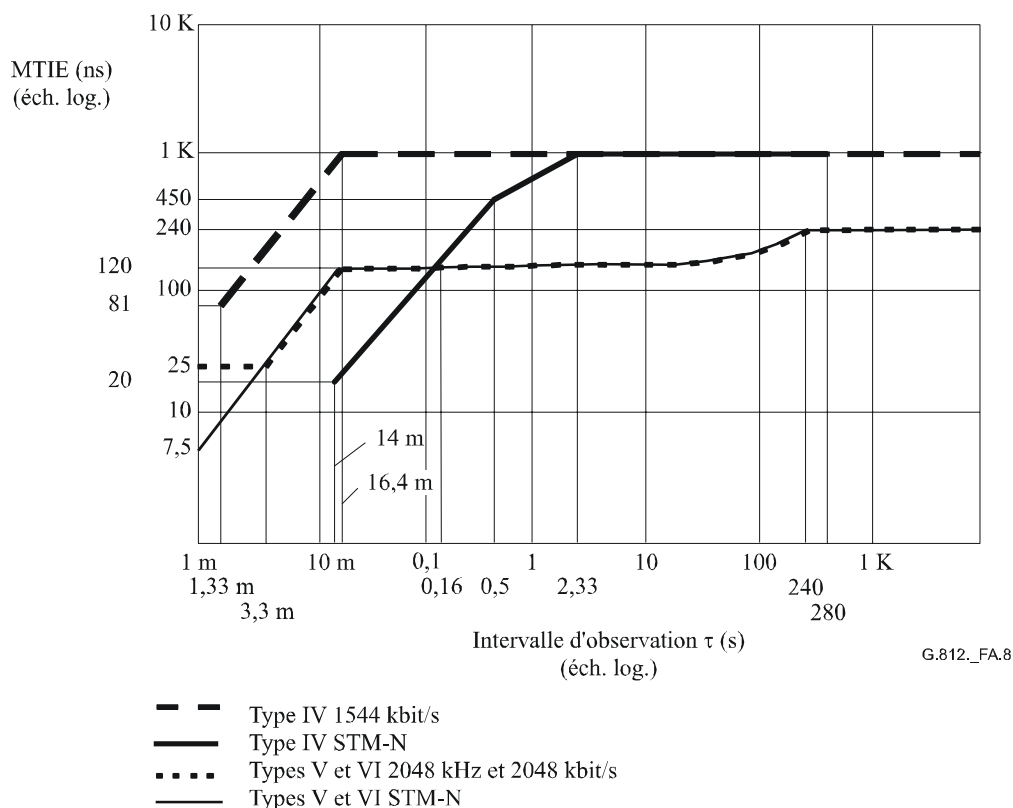


Figure A.8/G.812 – Gabarit pour les transitoires de phase à court terme (MTIE)

A.6.2 Réaction aux transitoires de phase à long terme (mode autonome)

Les présentes conditions se rapportent aux excursions maximales du signal de rythme de sortie. En outre, elles limitent l'accumulation des variations de phase lorsque des dégradations ou perturbations internes affectent le signal d'entrée.

Lorsqu'une horloge G.812 perd toutes ses références, elle passe en mode autonome. L'erreur de phase, Δx , à la sortie de l'horloge asservie à partir du moment où il y a perte de référence doit, pendant une période quelconque de S secondes, satisfaire aux conditions suivantes:

$$|\Delta x(S)| \leq \left\{ (a_1 + a_2)S + 0,5 b S^2 + c \right\} [\text{ns}]$$

La dérivée de $\Delta x(S)$, qui est le décalage fractionnaire en fréquence, doit, sur une période quelconque de S secondes, satisfaire à la condition suivante:

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

La dérivée seconde de $\Delta x(S)$, qui est la dérive fractionnaire en fréquence, doit, sur une période quelconque de S secondes, satisfaire à la condition suivante:

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

Lorsqu'on applique les conditions précitées pour la dérivée de $\Delta x(S)$ et la dérivée seconde de $\Delta x(S)$, la période S doit commencer après la fin du transitoire associé au passage au mode autonome. Au cours de cette période transitoire, les conditions applicables aux transitoires spécifiés au § A.6.1 s'appliquent.

NOTE 1 – a_1 est le décalage initial de fréquence dans des conditions de température constante (± 1 K).

NOTE 2 – a_2 est un facteur qui tient compte des variations de température après le passage de l'horloge en mode autonome. S'il n'y a pas de variation de température, le terme a_2 ne doit pas contribuer à l'erreur de phase.

NOTE 3 – b représente la dérive moyenne en fréquence due au vieillissement. Cette valeur est obtenue à partir des caractéristiques types de vieillissement après 60 jours de fonctionnement continu. Il ne s'agit pas de mesurer cette valeur quotidiennement, étant donné que l'effet de la température sera dominant.

NOTE 4 – Le décalage en fréquence c tient compte de tout déphasage additionnel qui peut apparaître lors du passage au mode autonome.

NOTE 5 – d représente la vitesse de variation de la dérive en fréquence temporaire maximale à température constante admissible en mode autonome. Cependant, il n'est pas exigé que d et b soient égaux.

Les erreurs de phase admissibles pour différents types d'horloge G.812 sont indiquées dans le Tableau A.18.

Tableau A.18/G.812 – Spécifications de réponse aux transitoires en mode autonome

	Type IV	Type V	Type VI
S'applique à	TBD	$S > 100$ s	$S > 100$ s
a_1 (ns/s)	50	0,5	10
a_2 (ns/s)	300	NA	NA
b (ns/s ²)	$4,63 \times 10^{-4}$	$1,16 \times 10^{-5}$	$2,3 \times 10^{-4}$
c (ns)	1000	1000	1000
d (ns/s ²)	$4,63 \times 10^{-4}$	NA	NA
NA Non applicable			
TBD A déterminer			

A.6.3 Variation de la phase suite à des interruptions du signal d'entrée

Pour les interruptions à court terme des signaux de synchronisation d'entrée, qui ne provoquent pas de commutation de référence, la variation de phase à l'entrée appelle un complément d'étude.

A.6.4 Discontinuité de phase

Dans les cas peu fréquents d'opérations de test ou de réorganisation internes dans l'horloge asservie, les transitoires de phase à la sortie des horloges G.812 doivent respecter les spécifications en termes de MTIE données dans le Tableau A.19 pour les horloges nodales de type IV et dans le Tableau A.20 pour les horloges des types V et VI et représentées dans la Figure A.9.

**Tableau A.19/G.812 – Transitoires de phase en sortie (MTIE)
pour les horloges nodales de type IV**

Limite de MTIE (ns)	Intervalle d'observation τ (s)
NA	$\tau \leq 0,001\ 33$
61 000 τ	$0,001\ 33 < \tau \leq 0,016\ 4$
1000	$\tau > 0,016\ 4$
NA Non applicable	

**Tableau A.20/G.812 – Transitoires de phase en sortie (MTIE)
pour les horloges nodales des types V et VI**

Limite de MTIE (ns)	Intervalle d'observation τ (s)
61	$\tau \leq 0,001$
61 000 τ	$0,001 < \tau \leq 0,016\ 4$
1000	$\tau > 0,016\ 4$

Les conditions résultantes à respecter sont représentées dans la Figure A.9.

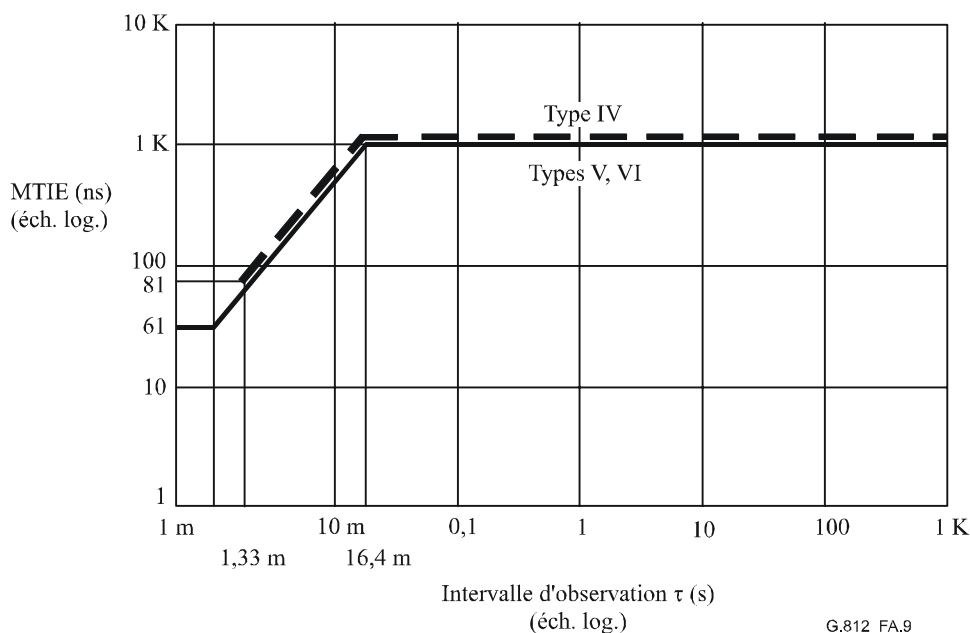


Figure A.9/G.812 – Spécifications de transitoires de phase de sortie (MTIE)

A.7 Interfaces

Les conditions fixées dans la présente Recommandation se rapportent à des points de référence situés dans des éléments de réseau (NE, *network element*) où les horloges sont intégrées et qui ne sont donc pas nécessairement accessibles pour les mesures ou l'analyse par l'utilisateur. Par conséquent, la performance de l'horloge G.812 n'est pas définie au niveau de ces points de référence internes, mais plutôt aux interfaces externes de l'équipement. Les entrées et sorties externes sont les suivantes:

- des interfaces à 1544 kbit/s conformes à la Rec. UIT-T G.703;

- des interfaces externes à 2048 kHz conformes à la Rec. UIT-T G.703;
- des interfaces à 2048 kbit/s conformes à la Rec. UIT-T G.703;
- des interfaces de trafic STM-N conformes aux Recommandations UIT-T G.703 et G.957.

Il convient de noter que certains équipements ne mettent pas en œuvre toutes ces interfaces. Ces interfaces doivent être conformes aux conditions additionnelles de gigue et de dérapage définies dans la présente Recommandation.

Appendice I

Relation entre l'écart temporel (TDEV) et la densité spectrale de puissance

Le présent appendice, joint pour information, a pour objet de montrer que la densité spectrale de puissance de la phase est donnée approximativement en termes de TDEV de la phase par la formule

$$S_x(f) \approx \frac{0,75}{f} \left(\text{TDEV} \left(\frac{0,3}{f} \right) \right)^2$$

Au § II.3/G.810, le paramètre TDEV est défini par la relation:

$$\text{TDEV}(\tau) = \sqrt{\frac{2}{3(\pi v_{\text{nom}} n)^2} \int_0^{f_h} S_\varphi(f) \frac{\sin^6(\pi n \tau_0 f)}{\sin^2(\pi \tau_0 f)} df}$$

dans laquelle v_{nom} est la fréquence nominale en hertz de la référence avec dérapage, et $n\tau_0 = \tau$, et $S_\varphi(f)$ est la densité spectrale de puissance (PSD, *power spectral density*) de la phase $\varphi(t)$ en radians. Soit:

$$S_x(f) = \frac{1}{(2\pi v_{\text{nom}})^2} S_\varphi(f)$$

la densité spectrale de puissance de l'erreur d'intervalle temporelle $x(t) = \varphi(t) / (2\pi v_{\text{nom}})$ en secondes. Si la fréquence la plus élevée f est $f = 10$ Hz et que la valeur maximale τ_0 est $\tau_0 = 20$ ms, alors on a $\pi \tau_0 f < 0,628$, et $n \cdot \sin(\pi \tau_0 f) \approx n \cdot \pi \tau_0 f = \pi \tau f$, et on a donc:

$$\text{TDEV}(\tau) = \sqrt{\frac{8}{3} \int_0^{f_h} S_x(f) \frac{\sin^6(\pi \tau f)}{(\pi \tau f)^2} df} = \sqrt{\int_0^{f_h} S_x(f) H^2(\tau, f) df} \quad (\text{I-1})$$

où:

$$H(\tau, f) = \sqrt{\frac{8}{3}} \frac{\sin^3(\pi \tau f)}{\pi \tau f}$$

Le terme $S_x(f) H^2(\tau, f)$ est la densité spectrale de puissance de la phase $x(t)$. Par conséquent, le paramètre TDEV peut être considéré comme la valeur efficace de la phase qui a été soumise à un filtrage passe-bande $H(\tau, f)$. La Figure I.1 montre $H(\tau, f)^2$ pour des valeurs $\tau = 0,5$ s et $\tau = 1,0$ s. Comme $H(\tau, f)^2$ a seulement 0,85% de sa surface au-delà de $20/\tau$, dans la pratique on peut utiliser $f_h = 20/\tau$ en acceptant un petit effet sur la valeur calculée du paramètre TDEV.

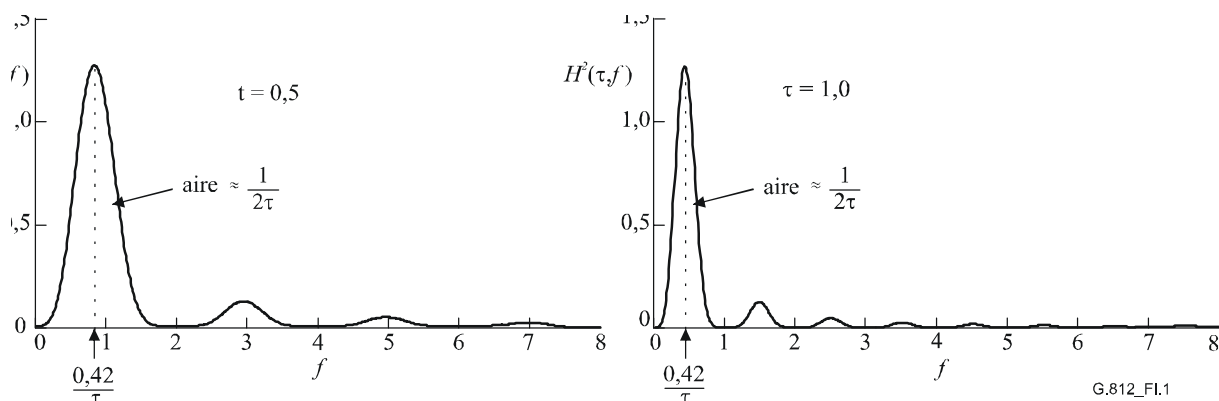


Figure I.1/G.812 – Réponse en fréquence du filtre $H(\tau, f)$ utilisé pour le calcul de l'écart TDEV

Il convient de noter que les crêtes de réponse se produisent pour $f = 0,42/\tau$ et que la surface sous la courbe est $1/(2\tau)$. Si la bande passante est très étroite, on aura $\int_0^\infty S_x(f)H(\tau, f)^2 df \approx (1/2\tau)S_x(0,42/\tau)$. Et comme le filtre a une largeur de bande assez importante et que la phase tend à avoir des composantes spectrales plus intenses aux fréquences basses, une meilleure approximation est:

$$\int_0^\infty S_x(f)H(\tau, f)^2 df \approx (1/2,5\tau)S_x(0,3/\tau)$$

L'écart TDEV est alors donné par la formule approximative suivante:

$$\text{TDEV}(\tau) \approx \sqrt{\frac{1}{2,5\tau} S_x\left(\frac{0,3}{\tau}\right)} \quad (\text{I-2})$$

Nous pouvons obtenir la relation inverse – la puissance spectrale à partir de l'écart TDEV – en remplaçant τ par $0,3/f$ et en résolvant l'équation pour $S_x(f)$:

$$S_x(f) \approx \frac{0,75}{f} \left(\text{TDEV}\left(\frac{0,3}{f}\right) \right)^2 \quad (\text{I-3})$$

En particulier, si la fonction $\text{TDEV}(\tau)$ a une discontinuité à $\tau = \tau_{\text{break}}$, alors $S_x(f)$ présente également une discontinuité à $f = f_{\text{break}}$, dans laquelle $f_{\text{break}} \approx 0,3/\tau_{\text{break}}$.

Appendice II

Méthode de mesure des caractéristiques de transfert du bruit

La méthode de mesure recommandée ici permet de vérifier directement la conformité avec les caractéristiques de transfert du bruit spécifiées au § 10 b) par application d'un signal de mesure égal à la limite admissible de bruit à l'entrée exprimée en TDEV et définie dans la Figure 4. La caractéristique de sortie en termes de TDEV est ensuite directement comparée avec la limite spécifiée dans la Figure 8.

II.1 Montage de mesure

Le montage de mesure est représenté à la Figure II.1.

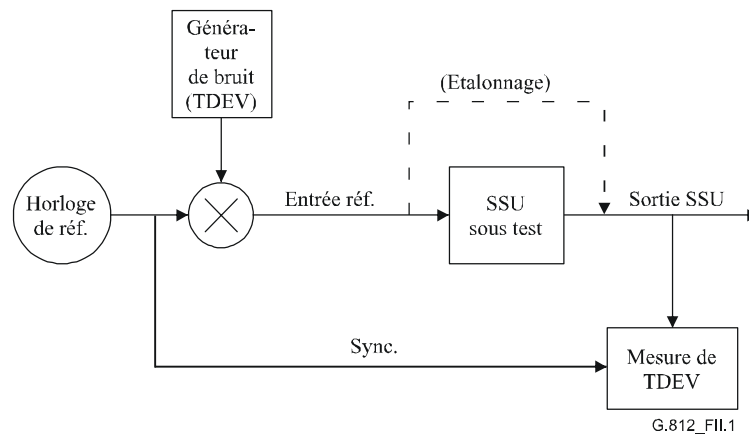


Figure II.1/G.812 – Montage de mesure des caractéristiques de transfert de bruit en termes de TDEV

Pour obtenir des mesures suffisamment précises, fiables et homogènes, il convient d'appliquer les principes suivants :

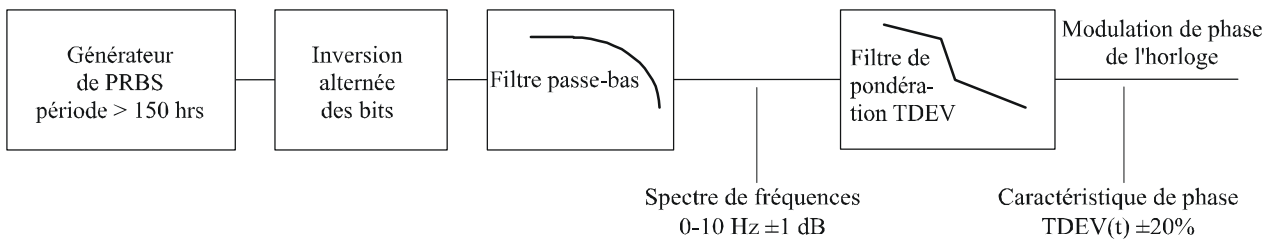
- 1) le signal de mesure doit être déterministe et ressembler à du bruit sur un intervalle d'observation bref;
- 2) le générateur de bruit doit produire un signal de mesure à $\pm 20\%$ de la spécification de tolérance au bruit à l'entrée (Figure 4, § 9);
- 3) pour les grandes valeurs de τ , les valeurs de TDEV obtenues doivent être conformes au masque de sortie de TDEV à $\pm 2\%$ de la spécification (Figure 8, § 10).

Afin d'obtenir les niveaux de précision ci-dessus, il conviendra d'utiliser des techniques de normalisation et d'étalonnage. D'une manière générale, il est recommandé d'utiliser la procédure suivante :

- 1) exécuter une séquence d'étalonnage de mesure, en l'absence de l'horloge asservie à étudier – TDEV(cal). On obtient ainsi les caractéristiques brutes du signal de test;
- 2) calculer un facteur de correction par rapport à la spécification de tolérance au dérapage à l'entrée voulue – TDEV(ref). Le signal de mesure est maintenant parfait;
- 3) mesurer le TDEV(dat) de l'horloge asservie étudiée dans les mêmes conditions que pour la séquence d'étalonnage;
- 4) normaliser TDEV(dat) par le TDEV(ref), on obtient ainsi le TDEV(meas);
- 5) le TDEV(meas) peut maintenant être directement comparé avec la limite de spécification du transfert de bruit.

II.2 Modèle fonctionnel du générateur de bruit de TDEV

Le générateur de bruit représenté à la Figure II.1 peut être décrit par le diagramme fonctionnel de la Figure II.2. Ce diagramme ne correspond pas à une implémentation particulière mais il définit les caractéristiques essentielles auxquelles il faut se conformer afin de remplir les objectifs de mesure précités. Un générateur de bruit utilisable, par exemple, peut être réalisé au moyen d'une séquence binaire pseudo-aléatoire de $2^{31} - 1$, produite à 6,4 kHz.



G.812_FII.2

Figure II.2/G.812 – Modèle fonctionnel d'un générateur de bruit pour la mesure de TDEV

SÉRIES DES RECOMMANDATIONS UIT-T

Série A	Organisation du travail de l'UIT-T
Série D	Principes généraux de tarification
Série E	Exploitation générale du réseau, service téléphonique, exploitation des services et facteurs humains
Série F	Services de télécommunication non téléphoniques
Série G	Systèmes et supports de transmission, systèmes et réseaux numériques
Série H	Systèmes audiovisuels et multimédias
Série I	Réseau numérique à intégration de services
Série J	Réseaux câblés et transmission des signaux radiophoniques, télévisuels et autres signaux multimédias
Série K	Protection contre les perturbations
Série L	Construction, installation et protection des câbles et autres éléments des installations extérieures
Série M	RGT et maintenance des réseaux: systèmes de transmission, circuits téléphoniques, télégraphie, télécopie et circuits loués internationaux
Série N	Maintenance: circuits internationaux de transmission radiophonique et télévisuelle
Série O	Spécifications des appareils de mesure
Série P	Qualité de transmission téléphonique, installations téléphoniques et réseaux locaux
Série Q	Commutation et signalisation
Série R	Transmission télégraphique
Série S	Equipements terminaux de télégraphie
Série T	Terminaux des services télématiques
Série U	Commutation télégraphique
Série V	Communications de données sur le réseau téléphonique
Série X	Réseaux de données et communication entre systèmes ouverts
Série Y	Infrastructure mondiale de l'information, protocole Internet et réseaux de nouvelle génération
Série Z	Langages et aspects généraux logiciels des systèmes de télécommunication