

Union internationale des télécommunications

**UIT-T**

SECTEUR DE LA NORMALISATION  
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS  
DE L'UIT

**O.172**

(04/2005)

SÉRIE O: SPÉCIFICATIONS DES APPAREILS DE  
MESURE

Appareils de mesure des paramètres numériques et  
analogiques/numériques

---

**Appareil de mesure de la gigue et du dérapage  
dans les systèmes numériques à hiérarchie  
numérique synchrone**

Recommandation UIT-T O.172

RECOMMANDATIONS UIT-T DE LA SÉRIE O  
SPÉCIFICATIONS DES APPAREILS DE MESURE

Généralités	O.1–O.9
Accès pour la maintenance	O.10–O.19
Systèmes de mesure automatiques et semi-automatiques	O.20–O.39
Appareils de mesure des paramètres analogiques	O.40–O.129
<b>Appareils de mesure des paramètres numériques et analogiques/numériques</b>	<b>O.130–O.199</b>
Appareils de mesure des paramètres des canaux optiques	O.200–O.209

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

## **Recommandation UIT-T O.172**

### **Appareil de mesure de la gigue et du dérapage dans les systèmes numériques à hiérarchie numérique synchrone**

#### **Résumé**

La présente Recommandation spécifie l'appareil utilisé pour produire et mesurer la gigue et le dérapage dans les systèmes numériques à hiérarchie numérique synchrone (SDH, *synchronous digital hierarchy*). Elle traite en outre des mesures à effectuer au niveau des interfaces de ligne SDH et des interfaces d'affluent SDH fonctionnant aux débits PDH.

Les prescriptions relatives aux caractéristiques des appareils de mesure de la gigue et du dérapage, spécifiées dans la présente Recommandation, doivent être respectées pour des raisons d'homogénéité des résultats entre les équipements proposés par les différents fabricants.

#### **Source**

La Recommandation UIT-T O.172 a été approuvée le 13 avril 2005 par la Commission d'études 4 (2005-2008) de l'UIT-T selon la procédure définie dans la Recommandation UIT-T A.8.

#### **Mots clés**

Dérapage de sortie, fonction de transfert de gigue, gigue du pointeur, gigue de sortie, mesure du dérapage, mesure de gigue, production de dérapage, production de gigue, production de séquence de pointeur, tolérance de dérapage à l'entrée, tolérance de gigue à l'entrée, transfert de bruit de dérapage, transitoires de phase.

## 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 2006

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

## TABLE DES MATIÈRES

		<b>Página</b>
1	Domaine d'application .....	1
2	Références.....	1
	2.1 Références normatives.....	1
	2.2 Références informatives .....	2
3	Définitions .....	2
4	Abréviations.....	3
5	Conventions .....	3
6	Schéma de principe.....	4
7	Interfaces.....	5
	7.1 Interfaces optiques .....	5
	7.2 Interfaces électriques .....	5
	7.3 Entrée de l'horloge de référence externe .....	5
	7.4 Sensibilité à l'entrée des interfaces .....	6
8	Fonction de production de la gigue ou du dérapage .....	6
	8.1 Source de modulation .....	6
	8.2 Générateur de rythme .....	6
	8.3 Générateur de séquences d'essai numérique.....	6
	8.4 Générateur de séquence de pointeur.....	7
	8.5 Capacité de production minimale de gigue et de dérapage .....	9
	8.6 Précision du générateur .....	10
9	Fonction de mesure de la gigue .....	12
	9.1 Signal de rythme de référence .....	12
	9.2 Capacités de mesure .....	12
	9.3 Largeurs de bandes de mesure.....	15
	9.4 Précision des mesures.....	17
	9.5 Précision de la mesure du transfert de gigue.....	20
	9.6 Moyens supplémentaires .....	20
10	Fonction de mesure du dérapage .....	20
	10.1 Signal de rythme de référence .....	20
	10.2 Mesure de l'erreur d'intervalle temporel.....	20
	10.3 Mesure de l'erreur d'intervalle temporel (TIE, <i>time interval error</i> ) transitoire.....	22
	10.4 Mesure de l'erreur maximale d'intervalle temporel (MTIE, <i>maximum time interval error</i> ).....	23
	10.5 Mesure de l'écart temporel TDEV ( <i>time deviation</i> ) .....	24
	10.6 Mesure du décalage de fréquence.....	25
	10.7 Mesure de la vitesse de dérive de fréquence .....	27
11	Fonction de production du bruit de dérapage de l'écart TDEV .....	28

	<b>Página</b>
12	Fonction de production de bruit de dérapage MTIE..... 29
13	Conditions de fonctionnement..... 29
	Annexe A – Signaux d'essai structurés pour la mesure de la gigue..... 29
	A.1 Introduction ..... 29
	A.2 Structure du signal d'essai pour des signaux STM-N..... 30
	A.3 Structure de signal d'essai pour signaux STM-N concaténés..... 31
	Annexe B – Définition de l'erreur de pente de phase crête à crête en largeur de bande limitée..... 32
	Annexe C – Limite supérieure de l'erreur MTIE pour le bruit de dérapage TDEV..... 33
	Appendice I – Directives concernant la mesure de la gigue dans les systèmes de la hiérarchie numérique synchrone..... 36
	Appendice II – Directives concernant la mesure du dérapage dans les systèmes de la hiérarchie numérique synchrone..... 36
	II.1 Mesures du dérapage ..... 36
	II.2 Mesures de la stabilité de l'horloge ..... 37
	Appendice III – Directives concernant la production de séquences d'essai de pointeur..... 38
	Appendice IV – Réponse en fréquence globale pour la fonction de mesure de la gigue..... 39
	IV.1 Introduction ..... 39
	IV.2 Caractéristiques des filtres de mesure ..... 39
	IV.3 Limites de masquage pour la réponse du filtre de mesure passe-haut ..... 40
	Appendice V – Vérification des algorithmes de calcul des écarts MTIE et TDEV..... 41
	V.1 Description fonctionnelle de la source de bruit TIE..... 41
	V.2 Premier exemple de générateur de bruit TIE..... 41
	V.3 Deuxième exemple de générateur de bruit TIE..... 42
	Appendice VI – Evaluation de la production de MTIE ..... 42
	Appendice VII – Méthode de vérification de l'exactitude des résultats des mesures et de l'erreur fixe intrinsèque..... 46
	VII.1 Description de la méthode et application ..... 46
	VII.2 Implémentation du système..... 46
	VII.3 Résultats et interprétation..... 49
	Appendice VIII – Méthode de caractérisation de la gigue intrinsèque à l'émission..... 51
	VIII.1 Description de la procédure de vérification et application..... 51
	VIII.2 Méthode..... 51
	VIII.3 Séquence d'essai de diagnostic ..... 54
	VIII.4 Calcul de la valeur crête à crête à partir de la fonction de la distribution de la probabilité (PDF) ..... 54

## **Introduction**

La performance des réseaux SDH et de leurs différents équipements, en termes de rythme et de synchronisation, est spécifiée dans un certain nombre de Recommandations de l'UIT-T, d'après deux paramètres: la gigue et le dérapage. La présente Recommandation spécifie les diverses caractéristiques auxquelles doivent satisfaire les appareils de mesure de la gigue et du dérapage pour être conformes aux spécifications desdites Recommandations de l'UIT-T et pour assurer d'autres fonctions d'essais et de mesures.

La présente Recommandation a été élaborée afin d'assurer une compatibilité maximale avec les prescriptions relatives aux mesures des réseaux et des équipements SDH concernés, tout en maintenant, chaque fois que possible, la compatibilité amont avec les prescriptions de la Rec. UIT-T O.171 [18] relative aux équipements d'essais PDH correspondants.

Cette prescription en termes de fonctionnalités et de caractéristiques concerne uniquement l'appareil de mesure et non sa réalisation structurelle; il appartient aux concepteurs et aux utilisateurs d'étudier attentivement cette réalisation. Il n'est pas indispensable de réunir dans un seul appareil l'ensemble des caractéristiques décrites dans la présente Recommandation. Les utilisateurs peuvent sélectionner les fonctions qui correspondent le mieux à leurs applications.





## Recommandation UIT-T O.172

### Appareil de mesure de la gigue et du dérapage dans les systèmes numériques à hiérarchie numérique synchrone

#### 1 Domaine d'application

La présente Recommandation spécifie l'appareil de mesure utilisé pour produire et mesurer la gigue de rythme et le dérapage de synchronisation dans les systèmes numériques utilisant la hiérarchie numérique synchrone (SDH).

La présente Recommandation spécifie en outre les prescriptions relatives à la mesure des affluents SDH fonctionnant aux débits binaires de la hiérarchie numérique plésiochrone (PDH).

L'appareil de mesure assure principalement une fonction de mesure et une fonction de production de la gigue et du dérapage. Les mesures peuvent être effectuées dans la couche Physique des systèmes SDH. En outre, pour certains types de mesure, un mesureur du taux d'erreur sur les bits peut se révéler nécessaire. Celui-ci peut être intégré dans l'appareil même ou en être physiquement séparé.

L'appareil de production et de mesure de la gigue et du dérapage dans les systèmes numériques à hiérarchie numérique plésiochrone (PDH) est spécifié dans la Rec. UIT-T O.171 [18].

Il est conseillé, en consultant la présente Recommandation, de se référer aux Recommandations UIT-T G.783 [6], G.812 [9], G.813 [10], G.825 [13] et G.798 [15].

#### 2 Références

##### 2.1 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.691 (2003), *Interfaces optiques pour les systèmes STM-64 et autres systèmes SDH monocanaux à amplificateurs optiques.*
- [2] Recommandation UIT-T G.693 (2005), *Interfaces optiques pour les connexions locales.*
- [3] Recommandation UIT-T G.703 (2001), *Caractéristiques physiques et électriques des jonctions numériques hiérarchiques.*
- [4] Recommandation UIT-T G.707/Y.1322 (2003), *Interface de nœud de réseau pour la hiérarchie numérique synchrone.*
- [5] Recommandation UIT-T G.772 (1993), *Points de contrôle protégés dans les systèmes de transmission numérique.*
- [6] Recommandation UIT-T G.783 (2004), *Caractéristiques des blocs fonctionnels des équipements de la hiérarchie numérique synchrone.*
- [7] Recommandation UIT-T G.810 (1996), *Définitions et terminologie des réseaux de synchronisation.*

- [8] Recommandation UIT-T G.811 (1997), *Caractéristiques de rythme des horloges de référence primaires.*
- [9] Recommandation UIT-T G.812 (2004), *Spécifications de rythme des horloges asservies utilisées comme horloges nodales dans les réseaux de synchronisation.*
- [10] Recommandation UIT-T G.813 (2003), *Caractéristiques de rythme des horloges asservies utilisées dans les équipements SDH.*
- [11] 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.*
- [12] 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.*
- [13] Recommandation UIT-T G.825 (2000), *Régulation de la gigue et du dérapage dans les réseaux numériques à hiérarchie numérique synchrone.*
- [14] Recommandation UIT-T G.957 (1999), *Interfaces optiques pour les équipements et les systèmes relatifs à la hiérarchie numérique synchrone.*
- [15] Recommandation UIT-T G.798 (2004), *Caractéristiques des blocs fonctionnels des équipements à hiérarchie numérique du réseau de transport optique.*
- [16] Recommandation UIT-T O.3 (1992), *Conditions climatiques et essais correspondants applicables aux appareils de mesure.*
- [17] Recommandation UIT-T O.150 (1996), *Prescriptions générales relatives aux appareils de mesure des caractéristiques de fonctionnement des équipements de transmission numérique.*
- [18] Recommandation UIT-T O.171 (1997), *Appareil de mesure de la gigue et du dérapage de rythme dans les systèmes numériques à hiérarchie numérique plésiochrone.*
- [19] Recommandation UIT-T O.181 (2002), *Appareils utilisés pour l'évaluation des caractéristiques d'erreur sur les interfaces STM-N.*
- [20] Recommandation UIT-R F.750-4 (2000), *Architectures et caractéristiques fonctionnelles des faisceaux hertziens pour réseaux utilisant la hiérarchie numérique synchrone.*

## 2.2 Références informatives

- [21] ANSI T1.105.03-2003, *Synchronous Optical Network (SONET) – Jitter and Wander at Network and Equipment Interfaces\**.
- [22] ANSI T1.105.06-2002, *Synchronous Optical Network (SONET): Physical Layer Specifications.\**

## 3 Définitions

Pour les besoins de la présente Recommandation les définitions suivantes s'appliquent (voir la Rec. UIT-T G.810 [7]):

**3.1 gigue (de rythme):** variations à court terme des instants caractéristiques d'un signal numérique par rapport à leurs valeurs idéales (l'expression "à court terme" signifie que la fréquence de ces variations est supérieure à 10 Hz).

---

\* Les normes T1 sont maintenues par l'ATIS depuis novembre 2003.

**3.2 dérapage:** variations à long terme des instants caractéristiques d'un signal numérique par rapport à leurs valeurs idéales (l'expression "à long terme" signifie que la fréquence de ces variations est inférieure à 10 Hz).

**3.3 erreur d'intervalle temporel (fonction d')**: différence entre la mesure d'un intervalle de temps par une horloge donnée et la mesure de cet intervalle par une horloge de référence.

Il peut être utile de noter que la Rec. UIT-T G.810 [7] définit d'autres termes et abréviations, utilisés dans les Recommandations relatives à la synchronisation et à la détermination des rythmes et qu'elle fournit également des informations de base sur la nécessité de limiter les défauts et variations de phase dans les systèmes numériques.

## 4 Abréviations

La présente Recommandation utilise les abréviations suivantes:

AU-n	unité administrative, niveau n ( <i>administrative unit, level n</i> )
CMI	signaux à inversions codées ( <i>coded mark inversion</i> )
MTIE	erreur maximale d'intervalle temporel ( <i>maximum time interval error</i> )
NRZ	non-retour à zéro
PDH	hiérarchie numérique plésiochrone ( <i>plesiochronous digital hierarchy</i> )
PJE	événement de justification de pointeur ( <i>pointer justification event</i> )
PLL	boucle à verrouillage de phase ( <i>phase-locked loop</i> )
PRBS	séquence binaire pseudo-aléatoire ( <i>pseudo random binary sequence</i> )
RMS	écart type; écart quadratique moyen ( <i>root-mean-square</i> )
SDH	hiérarchie numérique synchrone ( <i>synchronous digital hierarchy</i> )
STM-N	module de transport synchrone de niveau N ( <i>synchronous transport module, level N</i> )
TDEV	écart temporel ( <i>time deviation</i> )
TIE	erreur d'intervalle temporel ( <i>time interval error</i> )
TSS	structure du signal de test ( <i>test signal structure</i> )
TU-m	unité d'affluent de niveau m ( <i>tributary unit, level m</i> )
UI	intervalle unitaire ( <i>unit interval</i> )
UIpp	intervalle unitaire de crête à crête ( <i>unit interval, peak-to-peak</i> )

## 5 Conventions

Pour les besoins de la présente Recommandation, les conventions suivantes sont adoptées:

- les signaux d'interface utilisés sont désignés par leur format normalisé (par exemple, STM-1) ou par leur débit (par exemple, 139 264 kbit/s). Le format physique par défaut retenu pour les interfaces SDH est optique alors que, pour les interfaces PDH, il est électrique;
- lorsque la forme électrique d'une interface SDH est expressément utilisée dans la présente Recommandation, l'interface est désignée par "e", (par exemple, STM-1e) (voir aussi le § 7);

- c) les signaux d'interface utilisés peuvent être classés en deux types selon les catégories d'interfaces: interfaces de ligne SDH ou interfaces d'affluent SDH. Dans la présente Recommandation, l'expression interfaces de ligne SDH désigne des interfaces qui peuvent recevoir les signaux STM-N; l'expression interfaces d'affluent SDH désigne les interfaces qui peuvent recevoir les signaux fonctionnant aux débits PDH.

## 6 Schéma de principe

La Figure 1 montre le schéma de principe du montage général avec indication des principales fonctions traitées dans la présente Recommandation. Elle ne décrit pas une implémentation spécifique.

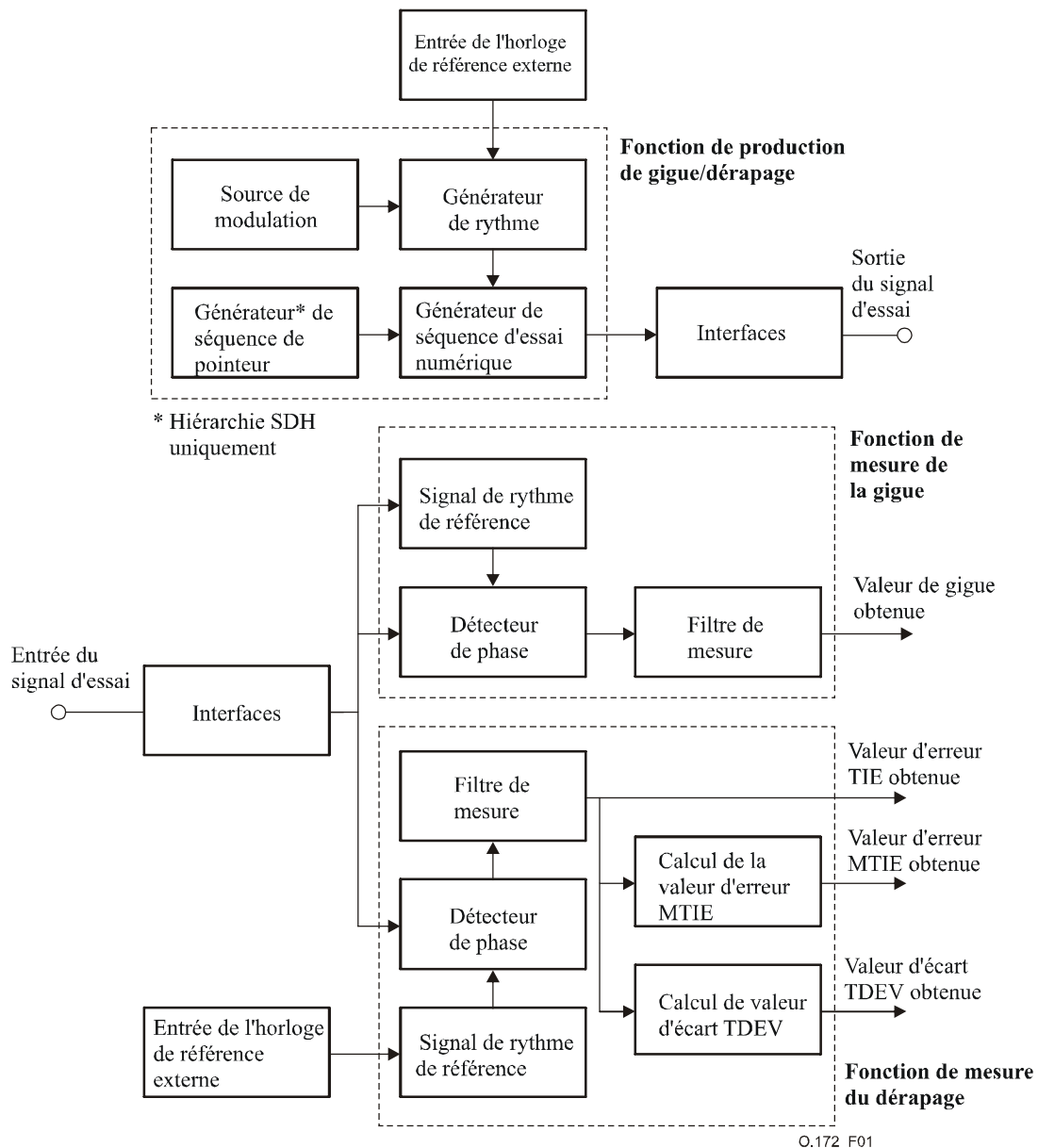


Figure 1/O.172 – Organigramme fonctionnel de l'appareil de test de gigue et de dérapage

## **7 Interfaces**

### **7.1 Interfaces optiques**

L'appareil doit pouvoir fonctionner à un ou à plusieurs des débits suivants, compte tenu des caractéristiques des interfaces optiques correspondantes, définies dans les Recommandations UIT-T G.957 [14] et G.691 [1] ainsi que dans la norme ANSI T1.105.06 [22] (pour les interfaces à 51 840 kbit/s).

- STM-0 51 840 kbit/s
- STM-1 155 520 kbit/s
- STM-4 622 080 kbit/s
- STM-16 2 488 320 kbit/s
- STM-64 9 953 280 kbit/s
- STM-256 39 813 120 kbit/s

### **7.2 Interfaces électriques**

L'appareil doit pouvoir fonctionner à un ou à plusieurs des débits suivants, compte tenu des caractéristiques des interfaces électriques correspondantes, définies dans la Rec. UIT-T G.703 [3] ainsi que dans la Rec. UIT-R F.750-4 [20] (pour les interfaces électriques à 51 840 kbit/s). Cependant, pour tous ces débits, le signal appliqué à l'entrée du circuit mesureur de gigue/dérage doit être une impulsion de forme nominale rectangulaire. D'autres formes risquent de produire du brouillage entre symboles qui, ne pouvant être corrigé par simple compensation, diminue la précision de la mesure:

- 1544 kbit/s
- 2048 kbit/s
- 6312 kbit/s
- 34 368 kbit/s
- 44 736 kbit/s
- 51 840 kbit/s, STM-0e
- 139 264 kbit/s
- 155 520 kbit/s, STM-1e

L'affaiblissement d'adaptation de l'accès d'entrée de la fonction de mesure et de l'accès de sortie de la fonction de production de la gigue ou du dérage doit être conforme aux valeurs indiquées dans la Rec. UIT-T G.703 [3].

A titre facultatif, la fonction de mesure de la gigue ou du dérage doit pouvoir mesurer la gigue ou le dérage à un accès de sortie de l'horloge si l'équipement numérique est pourvu d'un tel accès.

### **7.3 Entrée de l'horloge de référence externe**

L'appareil de mesure doit accepter des signaux de données à des débits de 1544 kbit/s ou 2048 kbit/s, à titre de référence. S'il peut accepter le débit de 2048 kbit/s, l'équipement doit aussi accepter un signal d'horloge à 2048 kHz, à titre de référence. Les caractéristiques des signaux d'horloge doivent être conformes aux dispositions de la Rec. UIT-T G.703 [3].

## 7.4 Sensibilité à l'entrée des interfaces

La fonction de mesure de la gigue ou du dérapage doit fonctionner de manière satisfaisante dans les conditions d'entrée suivantes:

- a) interfaces optiques de l'équipement telles que définies dans les Recommandations UIT-T G.957 [14] et G.691 [1];
- b) interfaces électriques de l'équipement telles que définies dans la Rec. UIT-T G.703 [3];
- c) points de contrôle protégés tels que définis dans la Rec. UIT-T G.772 [5].

## 8 Fonction de production de la gigue ou du dérapage

Les essais de l'équipement numérique doivent être effectués sur un signal numérique avec gigue et dérapage ou sans gigue et sans dérapage. Ils nécessiteront l'utilisation du générateur de séquence d'essai numérique, du générateur de rythme et de la source de modulation représentés sur la Figure 1.

### 8.1 Source de modulation

La source de modulation nécessaire pour effectuer des essais conformément aux Recommandations applicables peut être placée à l'intérieur du générateur de rythme et du générateur de séquence d'essai numérique, ou être montée séparément. Dans la présente Recommandation, la source de modulation est définie comme sinusoïdale. Cependant, certains essais nécessitent d'autres stimuli.

### 8.2 Générateur de rythme

Il devra être possible de moduler en phase le générateur de rythme à partir de la source de modulation et d'indiquer l'excursion de phase crête à crête du signal modulé.

La gigue ou le dérapage crête à crête produit et les fréquences modulantes doivent satisfaire aux conditions prescrites dans le Tableau 3 et dans la Figure 3.

Si les interfaces de sortie du signal d'horloge modulé ou du signal de référence de rythme externe sont indiquées, l'amplitude minimale doit être de 1 V crête à crête, sur 75  $\Omega$  ou de 0,25 V crête à crête, sur 50  $\Omega$ .

#### 8.2.1 Précision du générateur de rythme

L'excursion de fréquence du signal d'horloge interne par rapport à sa valeur nominale doit être inférieure à  $\pm 4,6 \times 10^{-6}$ .

Facultativement, le générateur de rythme peut fournir un décalage de fréquence réglable de grandeur suffisante pour permettre les effets sur toute la plage de tolérance de l'horloge de l'équipement soumis aux essais, par exemple de  $\pm 10 \times 10^{-6}$  à  $\pm 100 \times 10^{-6}$ , définie pour les différents débits dans les Recommandations UIT-T G.703 [3] et G.813 [10].

Il devrait être possible de moduler en phase la fonction de production sur la source du signal d'horloge de référence externe de précision arbitraire (voir aussi § 7.3).

### 8.3 Générateur de séquences d'essai numérique

La fonction de mesure de la gigue ou du dérapage est normalement utilisée avec un générateur de séquences d'essai numérique approprié, assurant les fonctions ci-après.

### 8.3.1 Séquences d'essai numérique

Le générateur de séquences d'essai numérique aura la capacité de produire un ou plusieurs des signaux suivants, aux débits STM-N:

- a) signaux SDH à trame conforme à la Rec. UIT-T G.707/Y.1322 [4];
- b) signaux d'essais structurés conformes à la Rec. UIT-T O.181 [19], selon le type d'élément de réseau à tester;
- c) signaux d'essais structurés définis dans l'Annexe A.

### 8.3.2 Séquences d'essai numérique pour les signaux d'affluent SDH

Le générateur de séquences d'essai doit pouvoir fournir les signaux suivants:

Pour un fonctionnement aux débits de 2048 kbit/s, de 6312 kbit/s et de 44 736 kbit/s, une séquence d'essai pseudo-aléatoire d'une longueur de  $2^{15} - 1$  bit correspondant au § 5.3/O.150 [17].

Pour un fonctionnement aux débits de 1544 kbits/s, de 6312 kbits/s et de 44 736 kbits/s, une séquence d'essai pseudo-aléatoire d'une longueur de  $2^{20} - 1$  bit correspondant au § 5.5/O.150 [17].

Pour un fonctionnement aux débits de 34 368 kbits/s et de 139 264 kbits/s, une séquence d'essai pseudo-aléatoire d'une longueur de  $2^{23} - 1$  bit correspondant au § 5.6/O.150 [17].

Pour un fonctionnement à tous les débits, une séquence d'essai répétitive 10001000.

En option et pour une utilisation à tous les débits,

- a) deux séquences d'essai de 8 bits librement programmables pouvant être alternées à un faible débit (par exemple entre 10 et 100 Hz);
- b) une séquence d'essai de 16 bits librement programmable.

## 8.4 Générateur de séquence de pointeur

Afin de tester l'effet des événements de justification de pointeur (PJE, *pointer justification event*) sur le désynchroniseur SDH, le générateur de séquences d'essai numérique doit pouvoir produire des séquences d'essai de justifications de pointeur complètes conformément aux dispositions appropriées de la Rec. UIT-T G.783 [6].

A titre facultatif, l'équipement peut assurer d'autres fonctions de commande PJE pour faciliter de nouvelles mesures de gigue de pointeur.

On trouvera dans l'Appendice III de plus amples précisions sur la configuration de l'appareil d'essai ainsi que sur sa capacité de mesure à l'aide de séquences de pointeur.

### 8.4.1 Capacité de production de séquences d'essai de pointeur

L'équipement doit assurer une série minimale de séquences d'essai de pointeur applicable à différents débits d'affluent SDH, désignée par "X" au Tableau 1, conformément au § 10/G.783 [6].

Pour les débits d'affluent SDH considérés, les ajustements de pointeur doivent être appliqués au pointeur AU-n ou au pointeur TU-m, comme indiqué au Tableau 1. La direction ou polarité de la séquence d'essai de pointeur peut être choisie parmi les valeurs de pointeur croissantes ou les valeurs de pointeur décroissantes.

La procédure d'essai spécifiée au § 15/G.783 [6] doit être appliquée.

**Tableau 1/O.172 – Description des séquences d'essai de pointeur G.783**

Séquence d'essai de pointeur G.783		Débit d'affluent SDH [kbit/s] et conteneur SDH					
		1544	2048	6312	34 368	44 736	139 264
ID	Description	TU-11	TU-12	TU-2	TU-3	AU-3	AU-4
a	Pointeurs uniques de polarités opposées		X	(Note)	X		X
b	Pointeurs réguliers avec un double pointeur		X		X		X
c	Pointeurs réguliers avec un pointeur manquant		X		X		X
d	Doubles pointeurs de polarités opposées				X		X
e	Pointeurs uniques	X				X	
f	Pointeurs en rafales					X	
g1	Pointeur périodique, schéma 87-3					X	X
g2	Pointeur périodique, schéma 87-3 avec insertion de position					X	X
g3	Pointeur périodique, schéma 87-3 avec suppression de position					X	X
h1	Pointeur périodique	X				X	
h2	Pointeur périodique avec insertion de position	X				X	
h3	Pointeur périodique avec suppression de position	X				X	
i	Transitoire de phase					X	
j1	Pointeur périodique, schéma 26-1	X					
j2	Pointeur périodique, schéma 26-1 avec insertion de position	X					
j3	Pointeur périodique, schéma 26-1 avec suppression de position	X					

NOTE – Les séquences d'essai de pointeur pour un débit de 6312 kbit/s (TU-2) feront l'objet d'un complément d'étude.

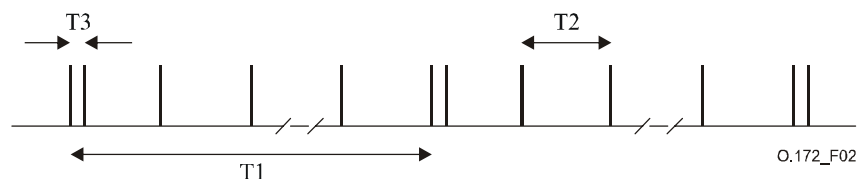
Les intervalles de temps entre événements PJE d'une séquence d'essai dépendent de la séquence en question et du débit de l'affluent SDH soumis aux essais. Pour le détail précis des séquences d'essai de pointeur applicables à un débit d'affluent donné, voir la Rec. UIT-T G.783 [6]. Le Tableau 2 indique les intervalles de temps à prévoir entre événements PJE pour différents débits d'affluent SDH, intervalles de temps qui sont représentés par la séquence générique de la Figure 2. Les intervalles de temps T1 et T2 peuvent être réglés à des valeurs supérieures aux valeurs minimales indiquées au Tableau 2.



**Tableau 2/O.172 – Intervalles de temps entre événements de justification de pointeur G.783**

Intervalle de temps	Débit d'affluent SDH [kbit/s]					
	1544	2048	6312	34 368	44 736	139 264
T1 (minimum)	30 s	10 s	(Note)	10 s	30 s	10 s
T2 (minimum)	1 s	750 ms	(Note)	(Note)	34 ms	(Note)
T3	2 ms	2 ms	(Note)	(Note)	0,5 ms	(Note)

NOTE – Valeur indiquée dans la Rec. UIT-T G.783 [6] et appelant un complément d'étude.



**Figure 2/O.172 – Séquence d'essai de pointeur G.783 générique représentant les intervalles de temps du Tableau 1**

### 8.5 Capacité de production minimale de gigue et de dérapage

La caractéristique d'amplitude/fréquence de la gigue et du dérapage de la fonction de production doit satisfaire aux valeurs minimales spécifiées à la Figure 3 et au Tableau 3 pour les signaux de ligne SDH ou au Tableau 3a pour les signaux d'affluent SDH.

**Tableau 3/O.172 – Amplitude minimale de la gigue et du dérapage réglables produits en fonction de la fréquence de la gigue et du dérapage pour les signaux de ligne SDH**

Signal	Amplitude minimale de la gigue et du dérapage crête à crête [UIpp]					Seuils de fréquence de la gigue et du dérapage [Hz]									
	$A_0$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$f_0$	$f_{12}$	$f_{11}$	$f_{10}$	$f_9$	$f_8$	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$
STM-0e, STM-0	*	*	20	2	0,2	*	*	*	*	10	30	300	2 k	20 k	400 k
STM-1e, STM-1	3600	400	50	2	0,2	12 $\mu$	178 $\mu$	1,6 m	15,6 m	125 m	19,3	500	6,5 k	65 k	1,3 M
STM-4	14 400	1600	200	2	0,2	12 $\mu$	178 $\mu$	1,6 m	15,6 m	125 m	9,65	1 k	25 k	250 k	5 M
STM-16	57 600	6400	800	2	0,2	12 $\mu$	178 $\mu$	1,6 m	15,6 m	125 m	12,1	5 k	100 k	1 M	20 M
STM-64	230 400	25 600	3200	2	0,2	12 $\mu$	178 $\mu$	1,6 m	15,6 m	125 m	12,1	20 k	400 k	4 M	80 M
STM-256	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS

NOTE 1 – Les astérisques "\*" correspondent à des valeurs non définies.

NOTE 2 – Ces valeurs ont été établies d'après celles qui sont indiquées dans la Rec. UIT-T G.825 [13].

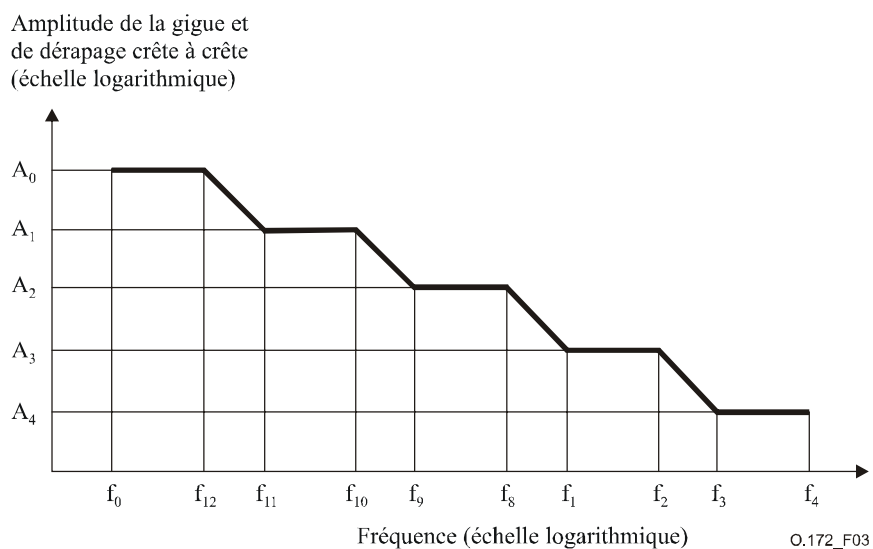
NOTE 3 – Les valeurs applicables au signal STM-0 ont été établies d'après les prescriptions de la norme ANSI T1.105.03 [21].

NOTE 4 – FFS indique que la valeur correspondante appelle un complément d'étude.

**Tableau 3a/O.172 – Amplitude minimale de la gigue et du dérapage réglables produits en fonction de la fréquence de la gigue et du dérapage pour les signaux d'affluent SDH**

Signal [kbit/s]	Amplitude minimale de la gigue et du dérapage crête à crête [UIpp]					Seuils de fréquence de la gigue et du dérapage [Hz]									
	$A_0$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$f_0$	$f_{12}$	$f_{11}$	$f_{10}$	$f_9$	$f_8$	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$
1544	40	*	20	10	0,5	12 $\mu$	50 m	*	*	100 m	5	10	400	8 k	40 k
2048	50	*	30	10	0,5	12 $\mu$	12 m	*	*	20 m	3,3	10	900	18 k	100 k
6312	150	*	50	10	0,5	12 $\mu$	3 m	*	*	10 m	0,4	2	1600	32 k	60 k
34 368	200	*	50	10	0,5	10 m	50 m	*	*	200 m	20	100	1000	20 k	800 k
44 736	1000	*	100	10	0,5	12 $\mu$	11 m	*	*	110 m	2,19	21,9	5000	100 k	400 k
139 264	800	*	200	10	0,5	10 m	33 m	*	*	130 m	5	100	500	10 k	3500 k

NOTE 1 – Les astérisques "\*" correspondent à des valeurs non définies.  
 NOTE 2 – Ces spécifications sont définies en fonction des Recommandations UIT-T G.823 [11] et G.824 [12].



**Figure 3/O.172 – Amplitude de la gigue et du dérapage produits en fonction de la fréquence de la gigue et du dérapage**

## 8.6 Précision du générateur

Le générateur de signaux d'essai doit être compatible avec la fonction de mesure de la gigue et du dérapage de manière que la précision de mesure globale ne soit pas sensiblement dégradée. On peut accroître la précision du générateur en mesurant la gigue et le dérapage appliqués au dispositif à l'essai à l'aide d'un appareil approprié.

La précision de la fonction de production de la gigue et du dérapage dépend de plusieurs facteurs tels que l'erreur intrinsèque constante, la précision de réglage, la distorsion et la caractéristique d'erreur en fonction de la fréquence. Il existe en outre une caractéristique d'erreur qui varie en fonction du réglage retenu.

### 8.6.1 Erreur d'amplitude de phase

L'erreur sur l'amplitude de la gigue et du dérapage sinusoïdal produits doit être inférieure à :

$$\pm Q\% \text{ du réglage } \pm 0,02 \text{ UIpp}$$

où  $Q$  est une erreur variable spécifiée au Tableau 4 pour les signaux de ligne SDH et au Tableau 4a pour les signaux d'affluent SDH. Les fréquences  $f_0$ ,  $f_1$ ,  $f_4$  et  $f_9$  utilisées aux Tableaux 4 et 4a sont définies aux Tableaux 3 et 3a.

NOTE – La présente Recommandation exclut toute composante de gigue et de dérapage intrinsèques à large bande.

### 8.6.2 Erreur de pente de phase

En largeur de bande limitée, l'erreur de pente de phase crête à crête exprimée en UI/s doit être inférieure à:

$$\frac{(\pm 2,5 \cdot Q\% \text{ de la valeur définie } \pm 0,05 \text{ UIpp}) \cdot 2\pi f_m}{\sqrt{1 + (f_m / f_{3\text{dB}})^2}}$$

dans la gamme

$$10 \text{ Hz} \leq f_m \leq 2 \cdot f_3$$

$f_m$  étant la fréquence de modulation,  $f_{3\text{dB}} = 2 \cdot f_3 \pm 10\%$  étant la largeur de bande du filtre passe-bas, la fréquence  $f_3$  étant définie au Tableau 3 pour les signaux de ligne SDH et au Tableau 3a pour les signaux d'affluent SDH, et  $Q$  étant une erreur variable définie au Tableau 4 pour les signaux de ligne SDH et au Tableau 4a pour les signaux d'affluent SDH. Les fréquences  $f_0$ ,  $f_1$ ,  $f_4$  et  $f_9$  utilisées aux Tableaux 4 et 4a sont définies aux Tableaux 3 et 3a.

Voir l'Annexe B pour la définition de l'erreur de pente de phase crête à crête en largeur de bande limitée.

NOTE – Cette spécification comprend les harmoniques de modulation (dans la largeur de bande du filtre passe-bas) causés par la distorsion, mais elle exclue tout élément de gigue/dérage intrinsèque à large bande.

**Tableau 4/O.172 – Erreur variable ( $Q$ ) de la gigue et du dérapage produits sur une ligne SDH**

Signal	Erreur, $Q$	Gamme de fréquences
STM-0e, STM-0	FFS	$f_9$ à $f_1$
	$\pm 8\%$	$f_1$ à $f_4$
STM-1e, STM-1	FFS	$f_0$ à $f_1$
	$\pm 8\%$	$f_1$ à 500 kHz
	$\pm 12\%$	500 kHz à $f_4$
STM-4, STM-16, STM-64	FFS	$f_0$ à $f_1$
	$\pm 8\%$	$f_1$ à 500 kHz
	$\pm 12\%$	500 kHz à 2 MHz
	$\pm 15\%$	2 MHz à $f_4$
STM-256	FFS	FFS
NOTE – FFS indique que la valeur correspondante appelle un complément d'étude.		

**Tableau 4a/O.172 – Erreur variable ( $Q$ ) de la gigue et du dérapage produits sur un affluent SDH**

Débit [kbit/s]	Erreur, $Q$	Gamme de fréquences
1544, 2048, 6312, 44 736	$\pm 8\%$	$f_1$ à $f_4$
34 368	$\pm 8\%$	$f_1$ à 500 kHz
	$\pm 12\%$	500 kHz à $f_4$
139 264	$\pm 8\%$	$f_1$ à 500 kHz
	$\pm 12\%$	500 kHz à 2 MHz
	$\pm 15\%$	2 MHz à $f_4$

### 8.6.3 Gigue et dérapage intrinsèques de la fonction de production

La gigue intrinsèque de la fonction de production de la gigue et du dérapage, mesurée dans une largeur de bande  $f_1$ - $f_4$  ainsi qu'il est défini au Tableau 7 pour une amplitude réglée à zéro, doit être inférieure à:

0,04 UIpp pour un signal de sortie présentant la structure définie dans l'Annexe A;

0,02 UIpp pour un signal d'horloge.

La spécification du dérapage intrinsèque maximal admissible appelle un complément d'étude.

## 9 Fonction de mesure de la gigue

### 9.1 Signal de rythme de référence

Pour le détecteur de phase, un signal de rythme de référence est nécessaire. En cas de mesures de bout en bout, la fonction de mesure de la gigue peut permettre d'obtenir ce signal d'après la séquence d'essai numérique d'entrée. En cas de mesures en boucle, ce signal peut être obtenu à l'aide d'un générateur de rythme approprié.

### 9.2 Capacités de mesure

#### 9.2.1 Plage de mesure

La fonction de mesure de la gigue doit pouvoir mesurer la gigue crête à crête. Les plages de mesure à prévoir sont facultatives mais, pour des raisons de compatibilité, la caractéristique d'amplitude en fonction de la fréquence de la fonction de mesure doit être conforme aux valeurs minimales indiquées à la Figure 4 et au Tableau 5 pour les signaux de ligne SDH et au Tableau 5a pour les signaux d'affluent SDH. Les fréquences  $f_6$  à  $f_4$  définissent la plage des fréquences de gigue à mesurer; la capacité de mesurer la plage des fréquences inférieures à  $f_1$  est facultative.

NOTE – L'exploitation de la fonction de mesure de la gigue sur une plage de fréquences continue de  $f_6$  à  $f_4$  est facultative.

**Tableau 5/O.172 – Amplitude minimale de la gigue mesurée  
en fonction de sa fréquence**

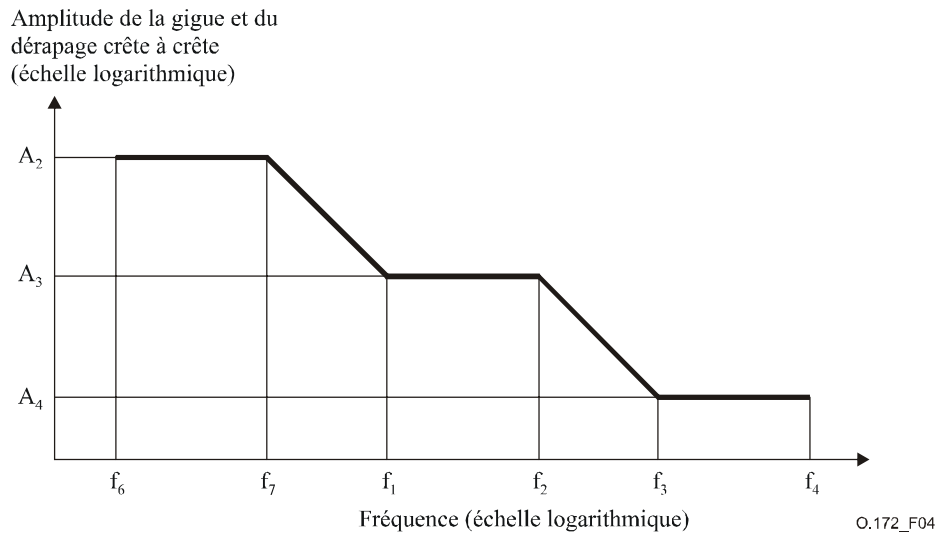
Signal	Amplitude minimale de la gigue crête à crête [UIpp]			Seuils de fréquence de la gigue [Hz]					
	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$f_6$	$f_7$	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$
STM-0e, STM-0	20	2	0,2	10	30	300	2 k	20 k	400 k
STM-1e	50	2	0,1	10	19,3	500	3,25 k	65 k	1,3 M
STM-1	50	2	0,2	10	19,3	500	6,5 k	65 k	1,3 M
STM-4	200	2	0,2	*	10	1 k	25 k	250 k	5 M
STM-16	800	2	0,2	10	12,1	5 k	100 k	1 M	20 M
STM-64	3200	2	0,2	10	12,1	20 k	400 k	4 M	80 M
STM-256	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS

NOTE 1 – L'astérisque "\*" indique que les valeurs correspondantes ne sont pas définies.  
 NOTE 2 – La précision spécifiée pour l'appareil est comprise entre les fréquences  $f_1$  et  $f_4$ .  
 NOTE 3 – Les valeurs indiquées pour le signal STM-0 ont été établies d'après les prescriptions de la norme ANSI T1.105.03 [21].

**Tableau 5a/O.172 – Amplitude minimale de la gigue mesurée  
en fonction de sa fréquence**

Signal [kbit/s]	Amplitude minimale de la gigue crête à crête [UIpp]			Seuils de fréquence de la gigue [Hz]					
	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$f_6$	$f_7$	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$
1544	*	10	0,5	*	*	10	400	8 k	40 k
2048	*	10	0,5	*	*	20	900	18 k	100 k
6312	*	10	0,5	*	*	10	1600	32 k	60 k
34 368	*	10	0,5	*	*	100	1000	20 k	800 k
44 736	*	10	0,5	*	*	10	5000	100 k	400 k
139 264	*	10	0,5	*	*	200	500	10 k	3500 k

NOTE 1 – L'astérisque "\*" indique que les valeurs correspondantes ne sont pas définies.  
 NOTE 2 – La précision spécifiée pour l'appareil est comprise entre les fréquences  $f_1$  et  $f_4$ .



**Figure 4/O.172 – Amplitude de la gigue mesurée en fonction de sa fréquence**

### 9.2.2 Seuil sélectionnable

Pour la mesure de la gigue crête à crête, on doit pouvoir compter le nombre de dépassements d'un seuil de gigue donné et la durée de ces dépassements. On doit pouvoir enregistrer ces valeurs à l'aide d'un compteur extérieur à l'appareil de mesure ou d'un compteur intégré à l'appareil à titre facultatif.

On doit pouvoir fixer le seuil à toute valeur comprise dans la plage de mesure de la fonction de mesure de la gigue.

### 9.2.3 Mesure de la gigue quadratique moyenne

La mesure de la gigue quadratique moyenne peut être faite, à l'intérieur ou à l'extérieur de l'appareil, sur la sortie analogique mentionnée au § 9.5.1.

### 9.2.4 Tolérance sur la variation de phase à l'entrée pour les signaux d'affluent SDH

L'appareil d'essai doit tolérer une variation de phase sinusoïdale à l'entrée à différents débits d'affluent, conformément aux valeurs de fréquence et d'amplitude indiquées ci-dessous au Tableau 6. Ces valeurs de fréquence et d'amplitude correspondent aux séquences d'essai de pointeur pertinentes définies dans la Rec. UIT-T G.783 [6] pour le cas le moins favorable.

**Tableau 6/O.172 – Tolérance sur la variation de phase à l'entrée de l'appareil d'essai pour la mesure de la gigue des affluents SDH**

Débit [kbit/s]	Variation de phase à l'entrée	
	Amplitude [UIpp]	Fréquence [Hz]
1544	17	3,0
2048	30	0,5
6312	FFS	FFS
34 368	22	5,0
44 736	60	1,5
139 264	75	1,5
NOTE – FFS indique que la valeur correspondante appelle un complément d'étude.		

Dans ce contexte, le terme tolérer signifie que la précision de mesure de l'appareil d'essai doit être comprise dans les limites spécifiées dans la présente Recommandation, étant entendu que la variation de phase à l'entrée peut avoir été atténuée par les filtres de mesure appliqués.

### 9.3 Largeurs de bandes de mesure

Il convient de limiter la largeur de bande afin de mesurer les spectres de gigue spécifiés dans les Recommandations pertinentes et pour d'autres usages. La largeur de bande  $f_1$  à  $f_4$  ou  $f_3$  à  $f_4$  de la fonction de mesure de la gigue doit être conforme aux valeurs indiquées au Tableau 7 pour les signaux de ligne SDH et au Tableau 7a pour les signaux d'affluent SDH.

**Tableau 7/O.172 – Largeurs de bande pour la fonction de mesure de la gigue pour les signaux de ligne SDH**

Signal	Largeurs de bande de mesure de la gigue (fréquences de coupure à -3 dB)			
	$f_1$ [Hz] passe-haut	$f_{12}$ [Hz] passe-haut	$f_3$ [Hz] passe-haut	$f_4$ [Hz] passe-bas
STM-0e, STM-0	100	–	20 k	400 k
STM-1e,	500	–	65 k	1,3 M
STM-1	500	12 k	65 k	1,3 M
STM-4	1 k	12 k	250 k	5 M
STM-16	5 k	12 k	1 M	20 M
STM-64	20 k	–	4 M	80 M
STM-256	80 k	–	16 M	320 M

NOTE 1 – Les valeurs indiquées pour le signal STM-0 ont été établies d'après les prescriptions de la norme ANSI T1.105.03 [21].

NOTE 2 – Les valeurs indiquées pour le signal STM-256 doivent être considérées comme étant provisoires, du fait que les prescriptions relatives au réseau ne sont pas encore définies dans la Rec. UIT-T G.825 [13].

NOTE 3 – Le filtre passe-haut  $f_{12}$  est optionnel.

**Tableau 7a/O.172 – Largeurs de bande pour la fonction de mesure de la gigue pour les signaux d'affluent SDH**

Débit [kbit/s]	Largeurs de bande de mesure de la gigue (fréquences de coupure à -3 dB)		
	$f_1$ [Hz] filtre passe-haut	$f_3$ [Hz] filtre passe-haut	$f_4$ [Hz] filtre passe-bas
1544	10	8 k	40 k
2048	20	18 k (0,7 k)	100 k
6312	10	3 k	60 k
34 368	100	10 k	800 k
44 736	10	30 k	400 k
139 264	200	10 k	3,5 M

NOTE – Deux valeurs sont définies pour la fréquence  $f_3$  au débit de 2048 kbit/s. La valeur indiquée entre parenthèses est applicable uniquement aux mesures effectuées à certaines interfaces nationales.

### 9.3.1 Réponse en fréquence de la fonction de mesure de la gigue pour des signaux de ligne SDH

La réponse de tous les filtres à l'intérieur de leur bande passante doit être telle que les conditions de précision de la fonction de mesure de la gigue soient satisfaites (voir § 9.4).

A tous les débits de ligne SDH, les prescriptions applicables à la fonction de mesure de la gigue, en cas d'utilisation des filtres de mesure aux fréquences  $f_1$ ,  $f_3$  et  $f_4$ , sont les suivantes:

- a) les filtres passe-haut, avec fréquences de coupure  $f_1$  et  $f_3$ , ont une caractéristique de premier ordre et une coupure progressive de 20 dB/décade;
- b) les valeurs nominales des fréquences de coupure  $f_1$  et  $f_3$  pour chaque débit sont spécifiées au Tableau 7 et le point nominal  $-3$  dB des filtres de mesure doit être respectivement à la fréquence  $f_1 \pm 10\%$  et  $f_3 \pm 10\%$ ;
- c) le filtre passe-bas, à la fréquence de coupure  $f_4$ , présente une caractéristique de Butterworth (uniformité maximale) et une coupure progressive de  $-60$  dB/décade;
- d) la valeur nominale de la fréquence de coupure  $f_4$  pour chaque débit est spécifiée au Tableau 7 et le point  $-3$  dB du filtre de mesure doit être à la fréquence  $f_4 \pm 10\%$ ;
- e) l'affaiblissement maximal des filtres de mesure doit être au moins de 60 dB.

Ces prescriptions fonctionnelles pour la mesure de la gigue sont compatibles avec celles de la Rec. UIT-T G.825 [13].

### 9.3.2 Réponse en fréquence de la fonction de mesure de la gigue pour des signaux d'affluents SDH

La réponse de tous les filtres à l'intérieur de la bande passante doit être telle que les conditions de précision de la fonction de mesure de la gigue soient satisfaites (voir § 9.4).

A tous les débits d'affluents SDH, les prescriptions applicables à la fonction de mesure de la gigue, en cas d'utilisation des filtres de mesure aux fréquences  $f_1$ ,  $f_3$  et  $f_4$  sont les suivantes:

- a) les filtres passe-haut, à la fréquence de coupure  $f_1$  ou  $f_3$ , ont une caractéristique de premier ordre de grandeur et une coupure progressive de 20 dB/décade;
- b) la valeur nominale des fréquences de coupure  $f_1$  et  $f_3$ , pour chaque débit, est spécifiée au Tableau 7a et le point nominal  $-3$  dB des filtres de mesure doit être aux fréquences  $f_1 \pm 10\%$  et  $f_3 \pm 10\%$  respectivement;
- c) le filtre de mesure passe-bas à la fréquence de coupure  $f_4$  présente une caractéristique de Butterworth (uniformité maximale) et une coupure progressive de  $-60$  dB/décade pour les débits de 2048, de 34 368 et de 139 264 kbit/s et de  $-20$  dB/décade pour les débits de 1544, de 6312 et de 44 736 kbit/s;
- d) la fréquence de coupure nominale  $f_4$  pour chaque débit est spécifiée au Tableau 7a et le point nominal  $-3$  dB du filtre de mesure doit être à la fréquence  $f_4 \pm 10\%$ ;
- e) l'affaiblissement maximal des filtres de mesure doit être au moins de 60 dB;
- f) en outre, les prescriptions suivantes s'appliquent lorsque la fonction de filtre passe-haut est à la fréquence  $f_1$ . L'erreur variable des filtres de mesure au-dessous de la fréquence  $f_1$  doit être telle que définie au Tableau 10a pour la fréquence  $f_1$ . Un deuxième pôle du filtre peut être mis en service à une fréquence inférieure à 0,1 Hz, avec une caractéristique de coupure progressive pouvant atteindre 40 dB par décade.

Ces prescriptions fonctionnelles, relatives à la mesure de la gigue, sont compatibles avec les dispositions des Recommandations UIT-T G.783 [6], G.823 [11] et G.824 [12].



L'Appendice IV indique comment ces prescriptions de filtrage et les spécifications des présents sous-paragraphes peuvent se conjuguer pour former une réponse en fréquence globale dans la fonction de mesurage de la gigue.

## 9.4 Précision des mesures

### 9.4.1 Précision des résultats des mesures

La précision de la fonction de mesure de la gigue dépend de plusieurs facteurs tels que l'erreur intrinsèque fixe, la réponse en fréquence et l'erreur des circuits fournissant le rythme de référence interne (cette erreur dépendant de la séquence d'essai numérique). A cela s'ajoute une erreur qui est introduite par la lecture elle-même.

La précision de la mesure de la gigue ne doit pas être affectée par l'excursion de fréquence sur le signal d'entrée, excursion qui est comprise dans les limites définies pour les divers débits dans les Recommandations UIT-T G.703 [3], G.783 [6], G.813 [10] et G.958 [15].

La précision des mesures est spécifiée à l'aide d'un signal d'entrée dont la structure est définie dans l'Annexe A pour les signaux de ligne SDH ou au § 8.3.2 pour les séquences pseudo-aléatoires correspondant aux signaux d'affluent SDH et présentant indifféremment:

- a) les caractéristiques physiques d'un signal électrique conforme à la Rec. UIT-T G.703 [3], de même niveau nominal que le signal de terminaison et dépourvu de tout nouvel affaiblissement en fonction de la fréquence;
- b) les caractéristiques physiques d'un signal optique conforme aux Recommandations UIT-T G.957 [14] ou G.691 [1], d'une puissance nominale comprise entre  $-10$  dBm et  $-12$  dBm. Un fonctionnement à des niveaux de puissance de sortie plus élevés peut être autorisé aux signaux STM-64 et STM-256 conformément aux puissances de lancement moyennes spécifiées dans la Rec. UIT-T G.693 [2].

L'erreur de mesure totale doit être inférieure à:

$$\pm R\% \text{ de la valeur lue } \pm W$$

$R$  étant l'erreur variable spécifiée au Tableau 10 ou au Tableau 10a et  $W$  étant l'erreur fixe donnée par le Tableau 8 ou le Tableau 9, y compris la contribution éventuelle de la fonction d'extraction du rythme interne.

### 9.4.2 Erreur fixe des mesures de la gigue sur des lignes SDH

Aux débits STM-N et pour les signaux numériques indiqués, l'erreur fixe de la fonction des mesures de la gigue doit correspondre aux valeurs spécifiées au Tableau 8, dans les limites des gammes de fréquences  $f_1$ - $f_4$  et  $f_3$ - $f_4$  indiquées. Les fréquences  $f_1$ ,  $f_3$  et  $f_4$  utilisées au Tableau 8 sont définies au Tableau 7.

**Tableau 8/O.172 – Erreur fixe (W) des mesures de la gigue sur des lignes SDH**

Signal	Erreur maximale sur la gigue crête à crête [UIpp] pour des signaux numériques donnés					
	Signal structuré			Signal d'horloge		
	$f_1-f_4$	$f_{12}-f_4$	$f_3-f_4$	$f_1-f_4$	$f_{12}-f_4$	$f_3-f_4$
STM-0e	FFS	–	FFS	FFS	–	FFS
STM-0	0,07	–	0,035	0,05	–	0,03
STM-1e	0,07	–	0,025	0,05	–	0,02
STM-1	0,07	0,035	0,035	0,05	0,03	0,03
STM-4	0,1	0,035	0,035	0,05	0,03	0,03
STM-16	0,1	0,035	0,035	0,05	0,03	0,03
STM-64	0,1	–	0,035	0,05	–	0,03
STM-256	0,15	–	0,05	0,05	–	0,03

NOTE 1 – FFS indique que la valeur à retenir appelle un complément d'étude.  
 NOTE 2 – Les signaux numériques structurés sont définis dans l'Annexe A.  
 NOTE 3 – Les interfaces d'horloge sont facultatives.  
 NOTE 4 – A STM-256 l'objectif consiste à réduire l'erreur fixe  $W$  dans les gammes de fréquences  $f_1-f_4$  et  $f_3-f_4$  à UIpp 0,1 et à UIpp 0,035.  
 NOTE 5 – Le filtre passe-haut  $f_{12}$  est optionnel.  
 NOTE 6 – A STM-16 et STM-64 erreur fixe réduite applicable aux nouveaux appareils de mesure.

### 9.4.3 Erreur fixe des mesures de la gigue des affluents SDH

Aux débits d'affluents et pour les signaux numériques indiqués, l'erreur fixe de la fonction de mesure de la gigue doit correspondre aux valeurs spécifiées au Tableau 9, dans les limites des gammes de fréquences  $f_1-f_4$  et  $f_3-f_4$  indiquées. Les fréquences  $f_1$ ,  $f_3$  et  $f_4$  utilisées au Tableau 9 sont définies au Tableau 7a.

**Tableau 9/O.172 – Erreur fixe (W) des mesures de la gigue sur des affluents SDH**

Débit [kbit/s]	Erreur maximale sur la gigue crête à crête [UIpp] pour des signaux numériques donnés			
	Signal pseudo-aléatoire		Signal d'horloge	
	$f_1-f_4$	$f_3-f_4$	$f_1-f_4$	$f_3-f_4$
1544	0,04	0,025	0,015	0,01
2048	0,04	0,025	0,015	0,01
6312	0,04	0,025	0,015	0,01
34 368	0,04	0,025	0,03	0,02
44 736	0,04	0,025	0,03	0,02
139 264	0,04	0,025	0,03	0,02

NOTE 1 – Les signaux numériques pseudo-aléatoires sont définis au § 8.3.2.  
 NOTE 2 – Les interfaces d'horloge sont facultatives.

#### 9.4.4 Erreur variable des mesures de la gigue des lignes SDH

L'erreur variable  $R$  doit correspondre aux valeurs spécifiées au Tableau 10 pour les signaux de ligne SDH. Les fréquences  $f_1$ ,  $f_3$  et  $f_4$  utilisées au Tableau 10 sont définies au Tableau 7.

**Tableau 10/O.172 – Erreur variable ( $R$ ) des mesures de la gigue des lignes SDH**

Signal	Erreur, $R$	Gamme de fréquences
STM-0e, STM-0	FFS	$f_1$ à $f_4$
STM-1e, STM-1	±7%	$f_1$ à 300 kHz
	±8%	300 kHz à 1 MHz
	±10%	1 MHz à $f_4$
STM-4	±7%	$f_1$ à 300 kHz
	±8%	300 kHz à 1 MHz
	±10%	1 MHz à 3 MHz
	±15%	3 MHz à $f_4$
STM-16, STM-64, STM-256	±7%	$f_1$ à 300 kHz
	±8%	300 kHz à 1 MHz
	±10%	1 MHz à 3 MHz
	±15%	3 MHz à 10 MHz
	±20%	10 MHz à $f_4$

NOTE – FFS indique que la valeur à retenir appelle un complément d'étude.

#### 9.4.5 Erreur variable des mesures de la gigue des affluents SDH

Aux fréquences de gigue comprises entre  $f_1$  et  $f_4$ , l'erreur variable  $R$  doit correspondre aux valeurs spécifiées au Tableau 10a pour les signaux d'affluent SDH. Les fréquences  $f_1$  et  $f_4$  utilisées dans le Tableau 10a sont définies au Tableau 7a.

**Tableau 10a/O.172 – Erreur variable ( $R$ ) des mesures de la gigue des affluents SDH**

Débit [kbit/s]	Erreur, $R$	Gamme de fréquences
1544	±9%	$f_1$ à 1 kHz
	±7%	1 kHz à $f_4$
2048	±7%	$f_1$ à $f_4$
6312	±9%	$f_1$ à 1 kHz
	±7%	1 kHz à $f_4$
34 368	±7%	$f_1$ à 300 kHz
	±8%	300 kHz à $f_4$
44 763	±9%	$f_1$ à 200 Hz
	±7%	200 Hz à 300 kHz
	±8%	300 kHz à $f_4$
139 264	±7%	$f_1$ à 300 kHz
	±8%	300 kHz à 1 MHz
	±10%	1 MHz à 3 MHz
	±15%	3 MHz à $f_4$

#### 9.4.6 Erreur dépendant du signal d'essai numérique

Les critères de précision indiqués dans les paragraphes précédents doivent être satisfaits si l'on utilise, pour mesurer la gigue, les signaux d'essai numériques définis dans l'Annexe A. Avec d'autres signaux structurés, des signaux pseudo-aléatoires ou des signaux aléatoires, il convient de s'attendre à des erreurs de mesure plus importantes. Etant donné les largeurs de bande de mesure ci-dessus, les signaux contenant davantage de zéros ou d'unités (c'est-à-dire les signaux dont les transitions sont moins nombreuses) peuvent même compromettre le théorème d'échantillonnage ce qui, pour des raisons théoriques, ne permet pas de satisfaire aux critères de précision spécifiés.

#### 9.5 Précision de la mesure du transfert de gigue

La spécification des caractéristiques de transfert de la gigue pour des équipements SDH donnée dans la Rec. UIT-T G.783 [6] utilise un gabarit gain/fréquence pour limiter le gain de transfert maximal (P) et la largeur de bande de transfert maximale ( $f_C$ ). Ce gabarit est spécifié pour une fréquence de la gamme  $f_L$  à  $f_H$ . La précision de la mesure du transfert de gigue dépend de plusieurs facteurs: reproductibilité des performances du générateur de gigue, linéarité et reproductibilité des performances de l'équipement de mesure de la gigue, bruit de fond. Lorsque la fréquence  $f_m$  de la gigue est inférieure à  $f_C$ , la précision de mesure influe sur la capacité de déterminer si la limite de gain P a été atteinte. Lorsque la fréquence  $f_m$  de la gigue est supérieure à  $f_C$ , la précision de mesure influe sur la capacité de déterminer si le gabarit de limitation de la largeur de bande au-dessus de  $f_C$  n'est pas dépassé.

L'erreur de mesure totale dans la gamme de fréquences de gigue  $f_L = 0,01 \cdot f_C$  et  $f_H = 100 \cdot f_C$  ou  $f_4$ , si  $f_4$  est inférieur à  $100 \cdot f_C$ , lorsqu'on utilise une amplitude de gigue d'entrée égale aux gabarits de tolérance de gigue applicables, sera inférieure à:

$$\pm 0,05 \text{ dB} \pm 0,12 \cdot g$$

où  $g$  est le gain de transfert de gigue à la fréquence de gigue  $f_m$ , en dB. Cette erreur de mesure s'applique pour une valeur  $g$  supérieure ou égale à  $-45$  dB. Aucune précision n'est spécifiée pour une valeur de  $g$  inférieure à  $-45$  dB.

#### 9.6 Moyens supplémentaires

##### 9.6.1 Sortie analogique

La fonction de mesure de la gigue peut fournir un signal de sortie analogique permettant de faire des mesures à l'extérieur de cette fonction, par exemple au moyen d'un oscilloscope ou d'un mesureur de gigue quadratique moyenne.

### 10 Fonction de mesure du dérapage

Les configurations de mesure du dérapage sont examinées plus en détail dans l'Appendice II.

#### 10.1 Signal de rythme de référence

Pour mesurer le dérapage, on doit pouvoir verrouiller en phase la fonction de mesure sur un générateur de rythme de référence externe de précision arbitraire (voir aussi § 7.3).

#### 10.2 Mesure de l'erreur d'intervalle temporel

L'appareil doit pouvoir mesurer l'erreur d'intervalle temporel (TIE, *time interval error*) telle qu'elle est définie dans la Rec. UIT-T G.810 [7]. L'erreur TIE est la fonction de base par rapport à laquelle peuvent être calculés de nombreux paramètres de stabilité (MTIE et TDEV, par exemple).

L'erreur TIE peut être interprétée comme la différence de temps entre le signal que l'on mesure et l'horloge de référence. Généralement exprimée en nanosecondes, elle prend la valeur zéro au début de la période de mesure. L'erreur TIE indique par conséquent le changement de rythme depuis le début de la mesure.

### 10.2.1 Intervalle d'échantillonnage

Pour le calcul et l'évaluation des divers paramètres de dérapage spécifiés dans les sous-paragraphes qui suivent, on considère l'erreur TIE comme étant un paramètre échantillonné étant donné qu'on ne saurait dans la pratique connaître toutes les valeurs d'erreur d'intervalle temporel (voir la Rec. UIT-T G.810 [7]).

L'intervalle maximal d'échantillonnage  $\tau_0$ , de l'erreur TIE doit être de:

$$1/30 \text{ s}$$

conformément aux Recommandations UIT-T G.813 [10] et G.812 [9].

### 10.2.2 Largeur de bande de mesure

Le dérapage doit être mesuré au moyen d'un filtre passe-bas équivalent du premier ordre (10 Hz), conforme aux Recommandations UIT-T G.813 [10] et G.812 [9] et présentant les caractéristiques suivantes:

- a) caractéristiques d'un seul ordre de grandeur et coupure progressive de  $-20$  dB/décade, le point  $-3$  dB devant se situer à une fréquence de  $10 \text{ Hz} \pm 10\%$ ;
- b) amplitude de l'ondulation en bande passante de  $1$  à  $10 \text{ Hz}$  inférieure à  $\pm 0,2$  dB (par rapport au gain à  $0,1 \text{ Hz}$ ), pour un affaiblissement maximal d'au moins  $30 \text{ dB}$ .

### 10.2.3 Plage de mesure

La plage de mesure dynamique de l'erreur TIE doit être au minimum de:

$$\pm 1 \times 10^9 \text{ ns}$$

(valeur correspondant, par exemple, à un décalage de fréquence de  $\pm 4,6 \times 10^{-6}$  pour  $200\,000$  secondes ou plus de  $55$  heures).

### 10.2.4 Précision des résultats des mesures

La précision de la fonction de mesure du dérapage dépend de plusieurs facteurs tels que la valeur lue, l'erreur intrinsèque fixe, la réponse en fréquence et l'intervalle d'échantillonnage TIE.

Pour chaque mesure de l'erreur TIE pendant un intervalle d'observation  $\tau$ , l'erreur totale doit être inférieure à:

$$\pm 5\% \text{ de la valeur TIE mesurée } \pm Z_0(\tau)$$

où le terme  $Z_0(\tau)$ , dont les valeurs sont indiquées au Tableau 11, est déterminé d'après les prescriptions de la Rec. UIT-T G.811 [8] relatives aux mesures.

**Tableau 11/O.172 – Erreur fixe ( $Z_0$ ) dans la mesure de TIE**

$Z_0(\tau)$ [ns]	Intervalle d'observation, $\tau$ [s]
$2,5 + 0,0275 \tau$	$0,05 \leq \tau \leq 1000$
$29 + 0,001 \tau$	$\tau > 1000$
NOTE – Une autre erreur dépendant de la fréquence vient s'ajouter au-dessus de 1 Hz en raison de la réponse du filtre de mesure (voir § 10.2.2).	

### 10.3 Mesure de l'erreur d'intervalle temporel (TIE, *time interval error*) transitoire

L'instrument peut être à même de mesurer l'erreur d'intervalle temporel transitoire. L'erreur TIE transitoire est définie comme étant l'erreur TIE mesurée au moyen d'un filtre passe-bas équivalent du premier ordre (100 Hz) ainsi qu'il est décrit dans les Recommandations UIT-T G.783 [6] et G.813 [10].

L'erreur TIE transitoire peut servir à mesurer les ajustements de pointeurs spécifiés dans la Rec. UIT-T G.783 [6] ou pour les transitoires de phase d'horloge spécifiés dans les Recommandations UIT-T G.812 [9] et G. 813 [10].

#### 10.3.1 Intervalle d'échantillonnage

Le temps d'échantillonnage maximal  $\tau_0$  de l'erreur TIE transitoire doit être de:

$$1/1000 \text{ s}$$

conformément aux Recommandations UIT-T G.783 [6] et G.812 [9].

#### 10.3.2 Largeur de bande de mesure

L'erreur TIE transitoire doit être mesurée au moyen d'un filtre de mesure passe-bas équivalent du premier ordre (100 Hz).

- Le filtre de mesure passe-bas a une caractéristique d'un seul ordre de grandeur et une coupure progressive de  $-20$  dB par décade. Le point  $-3$  dB du filtre de mesure doit être à la fréquence de  $100 \text{ Hz} \pm 10\%$ .
- L'amplitude de l'ondulation en bande passante de  $10$  à  $100 \text{ Hz}$  doit être inférieure à  $\pm 0,2$  dB (par rapport au gain à  $1 \text{ Hz}$ ) et l'affaiblissement maximal du filtre de mesure doit être d'au moins  $30$  dB.

#### 10.3.3 Plage de mesure

La plage de mesure dynamique de l'erreur TIE transitoire doit être au minimum de:

$$\pm 1 \times 10^6 \text{ ns}$$

#### 10.3.4 Précision des résultats des mesures

La précision de la fonction de mesure de l'erreur TIE transitoire dépend de plusieurs facteurs tels que la valeur lue, l'erreur intrinsèque fixe, la réponse en fréquence et l'intervalle d'échantillonnage.

Pour chaque mesure de l'erreur TIE transitoire pendant un intervalle d'observation  $\tau$ , l'erreur totale doit être inférieure à:

$$\pm 5\% \text{ de la valeur TIE transitoire mesurée } \pm Z_9(\tau)$$

où le terme  $Z_9(\tau)$ , dont les valeurs sont indiquées au Tableau 12, est déterminé d'après les prescriptions de la Rec. UIT-T G.811 [8] relatives aux mesures.

**Tableau 12/O.172 – Erreur fixe ( $Z_9$ ) dans la mesure de l'erreur TIE transitoire**

$Z_9(\tau)$ [ns]	Intervalle d'observation, $\tau$ [s]
$2,5 + 0,0275 \tau$	$0,001 \leq \tau \leq 100$
NOTE – Une autre erreur dépendant de la fréquence vient s'ajouter au-dessus de 10 Hz en raison de la réponse du filtre de mesure (voir § 10.3.2).	

#### 10.4 Mesure de l'erreur maximale d'intervalle temporel (MTIE, *maximum time interval error*)

La capacité de mesurer l'erreur maximale d'intervalle temporel (MTIE), telle qu'elle est définie dans la Rec. UIT-T G.810 [7], peut être prévue.

L'erreur MTIE indique le dérapage qui caractérise les excursions de fréquence et les transitoires de phase. Elle varie en fonction d'un paramètre  $\tau$  appelé intervalle d'observation. On peut dire que la fonction MTIE( $\tau$ ) correspond à l'erreur TIE crête à crête la plus importante pendant tout intervalle d'observation de durée  $\tau$ .

##### 10.4.1 Mesure de l'erreur MTIE et plage des intervalles d'observation

Afin de vérifier la validité des spécifications MTIE des diverses Recommandations de l'UIT-T, on doit pouvoir mesurer l'erreur MTIE sur des intervalles d'observation s'échelonnant au moins de:

- 0,05 s à 100 000 s pour l'erreur TIE ainsi qu'il est décrit au § 10.2;
- 0,001 s à 100 s pour l'erreur TIE transitoire ainsi qu'il est défini au § 10.3.

L'amplitude maximale des résultats des calculs de l'erreur MTIE doit être d'au moins:

$$50\,000 \text{ ns}$$

(ce qui correspond à 10 fois la valeur maximale spécifiée dans la Rec. UIT-T G.813 [10], par exemple).

NOTE – La période de mesure minimale  $T$  de la fonction MTIE( $\tau$ ) est l'intervalle d'observation (c'est-à-dire  $T = \tau$ ).

##### 10.4.2 Précision de l'algorithme de calcul

Dans certains cas, l'algorithme de calcul de l'erreur MTIE peut être fonctionnellement séparé de la mesure de l'erreur TIE, auquel cas les prescriptions de précision suivantes s'appliquent à l'algorithme autonome.

Lorsqu'il s'accompagne d'une série déterminée de données de mesure de l'erreur TIE, l'algorithme utilisé pour calculer l'erreur MTIE doit produire des résultats qui différeront légèrement des valeurs calculées selon l'expression type de l'estimateur indiqué au II.5/G.810 [7].

L'erreur de calcul MTIE totale doit être inférieure à:

$$\pm 2\% \text{ de la valeur MTIE } \pm Z_1(\tau)$$

$Z_1(\tau)$  étant spécifiée dans le Tableau 13 et  $\tau$  étant l'intervalle d'observation.

**Tableau 13/O.172 – Erreur fixe ( $Z_1$ ) de l'algorithme de calcul de l'erreur MTIE**

$Z_1(\tau)$ [ns]	Intervalle d'observation, $\tau$ [s]
$0,5 + 0,0055 \tau$	$0,001 \leq \tau \leq 1000$
$5,8 + 0,0002 \tau$	$\tau > 1000$
NOTE – Ces prescriptions découlent des considérations présentées dans la Rec. UIT-T G.811 [8].	

Afin de vérifier la précision de l'algorithme autonome de calcul de l'erreur MTIE, on peut utiliser le générateur de bruit TIE aux caractéristiques définies qui est décrit dans l'Appendice V.

#### 10.4.3 Précision des résultats des mesures

L'erreur de mesure totale (incluant l'erreur imputable à la mesure de l'erreur TIE et l'erreur introduite par l'algorithme de calcul de l'erreur MTIE) doit être inférieure à:

$$\pm 7\% \text{ de la valeur MTIE } \pm Z_3(\tau)$$

la valeur  $Z_3(\tau)$  étant spécifiée au Tableau 14 et  $\tau$  étant l'intervalle d'observation.

**Tableau 14/O.172 – Erreur fixe ( $Z_3$ ) du résultat de la mesure de l'erreur MTIE**

$Z_3(\tau)$ [ns]	Intervalle d'observation, $\tau$ [s]
$3 + 0,033 \tau$	$0,001 \leq \tau \leq 1000$
$35 + 0,0012 \tau$	$\tau > 1000$
NOTE – Ces prescriptions découlent de l'examen de la Rec. UIT-T G.811 [8].	

#### 10.5 Mesure de l'écart temporel TDEV (*time deviation*)

La capacité de mesurer l'écart temporel (TDEV), tel qu'il est défini dans la Rec. UIT-T G.810 [7] peut être prévue.

L'écart TDEV mesure le dérapage qui caractérise son contenu spectral. Cet écart varie en fonction d'un paramètre  $\tau$  appelé intervalle d'observation. On peut dire que la fonction TDEV( $\tau$ ) correspond à la valeur de l'écart quadratique moyen de l'erreur TIE avec filtrage en bande passante centré sur une fréquence de  $0,42/\tau$ .

##### 10.5.1 Mesure de l'erreur TDEV et plage des intervalles d'observation

Afin de vérifier la validité des spécifications TDEV de diverses Recommandations de l'UIT-T, on doit pouvoir mesurer l'écart TDEV sur des intervalles d'observation s'échelonnant au moins de:

$$0,05 \text{ s à } 10\,000 \text{ s}$$

L'amplitude maximale des valeurs TDEV obtenue doit être au moins de:

$$10\,000 \text{ ns}$$

(ce qui correspond à 10 fois la valeur maximale spécifiée dans la Rec. UIT-T G.813 [10], par exemple).

NOTE – La période de mesure minimale  $T$  pour la fonction TDEV( $\tau$ ) correspond à 12 fois l'intervalle d'observation (c'est-à-dire  $T = 12\tau$ ), conformément aux Recommandations UIT-T G.813 [10], G.812 [9] et G.811 [8].

##### 10.5.2 Précision de l'algorithme de calcul

Dans certains cas, l'algorithme de calcul de l'écart TDEV peut être fonctionnellement séparé de la mesure de l'erreur TIE; les prescriptions de précision suivantes s'appliquent alors à l'algorithme autonome.

Lorsqu'il s'accompagne d'une série déterminée de données de mesure de l'erreur TIE, l'algorithme utilisé pour calculer l'écart TDEV doit produire des résultats légèrement différents des valeurs calculées selon l'expression type de l'estimateur indiquée au § II.3/G.810 [7].

L'erreur de calcul TDEV totale doit être inférieure à:

$$\pm 2\% \text{ de la valeur TDEV } \pm Z_2(\tau)$$



la valeur  $Z_2(\tau)$  étant spécifiée au Tableau 15 et  $\tau$  étant l'intervalle d'observation.

**Tableau 15/O.172 – Erreur fixe ( $Z_2$ ) de l'algorithme de calcul de l'écart TDEV**

$Z_2(\tau)$ [ns]	Intervalle d'observation, $\tau$ [s]
0,06	$0,05 \leq \tau \leq 100$
$0,0006 \tau$	$100 < \tau \leq 1000$
0,6	$1000 < \tau \leq 10\ 000$
NOTE – Ces prescriptions découlent de l'examen de la Rec. UIT-T G.811 [8].	

Afin de vérifier la précision d'un algorithme autonome de calcul de l'écart TDEV, on peut utiliser le générateur de bruit TIE aux caractéristiques définies dans l'Appendice V.

### 10.5.3 Précision des résultats des mesures

L'erreur de mesure totale (incluant l'erreur imputable à la mesure de l'erreur TIE et l'erreur introduite par l'algorithme de calcul de l'écart TDEV) doit être inférieure à:

$$\pm 7\% \text{ de la valeur TDEV } \pm Z_4(\tau)$$

$Z_4(\tau)$  étant spécifié au Tableau 16 et  $\tau$  étant l'intervalle d'observation.

**Tableau 16/O.172 – Erreur fixe ( $Z_4$ ) du résultat de la mesure de l'écart TDEV**

$Z_4(\tau)$ [ns]	Intervalle d'observation, $\tau$ [s]
0,36	$0,05 \leq \tau \leq 100$
$0,0036 \tau$	$100 < \tau \leq 1000$
3,6	$1000 < \tau \leq 10\ 000$
NOTE – Ces prescriptions découlent de l'examen de la Rec. UIT-T G.811 [8].	

### 10.6 Mesure du décalage de fréquence

La capacité de mesurer le décalage de fréquence, tel qu'il est défini ci-après, peut être prévue.

Le décalage de fréquence est la première dérivée de la phase par rapport au temps. La fonction de transfert du processus de dérivation croît de manière proportionnelle à la fréquence à laquelle le décalage de fréquence varie. En conséquence, la largeur de bande de mesure doit être limitée. Elle dépend de la période pendant laquelle le décalage de fréquence est calculé à partir d'un ensemble de valeurs TIE  $x_i$ .

Le décalage de fréquence fractionnaire (en ns/s) mesuré pendant une période  $T$  est défini comme suit:

$$y(n\tau_0) = \frac{6}{N\tau_0} \sum_{i=1}^N x_{n+i} \left[ \frac{2i}{N^2 - 1} - \frac{1}{N - 1} \right]$$

où:

$\tau_0$  est l'intervalle d'échantillonnage exprimé en secondes

$N$  est le nombre d'échantillons de phase pendant la période de mesure

$T = N\tau_0$  est la période de mesure exprimée en secondes

$t = n\tau_0$  est le temps au début de la période de mesure

$x_i$  sont les échantillons de phase exprimés en ns

NOTE – Cette mesure affaiblit les éléments du décalage de fréquence qui varient à des fréquences supérieures à  $0,55/T$ . L'utilisateur doit choisir la valeur de  $T = N\tau_0$  pour affaiblir le bruit et faire passer les fréquences intéressantes.

### 10.6.1 Plage de mesure

Pour respecter les spécifications relatives à la mesure du décalage de fréquence énoncées dans diverses Recommandations de l'UIT-T, il doit être possible de mesurer le décalage de fréquence pendant une période de mesure d'au moins:

$$0,05 \text{ s} \leq T \leq 10\,000 \text{ s}$$

La plage maximale des résultats du calcul du décalage de fréquence doit être d'au moins:

$$75\,000 \text{ ns/s}$$

(ce qui correspond à 10 fois la valeur maximale spécifiée dans la Rec. UIT-T G.813 [10]).

### 10.6.2 Précision de l'algorithme de calcul

Dans certains cas, l'algorithme de calcul du décalage de fréquence peut être fonctionnellement séparé de la mesure de l'erreur TIE, les prescriptions suivantes en matière de précision étant alors applicables à l'algorithme autonome.

Lorsqu'il s'accompagne d'une série déterminée de données de mesure de l'erreur TIE, l'algorithme utilisé pour calculer le décalage de fréquence doit produire des résultats qui différeront légèrement des valeurs calculées selon l'expression type indiquée au § 10.6.

L'erreur totale de calcul du décalage de fréquence doit être inférieure à:

$$\pm 2\% \text{ de la valeur du décalage de fréquence } \pm Z_5(T)$$

la valeur  $Z_5(T)$  étant spécifiée au Tableau 17 et  $T$  étant la période de mesure.

**Tableau 17/O.172 – Erreur fixe ( $Z_5$ ) de l'algorithme de calcul du décalage de fréquence**

$Z_5(T)$ [ns/s]	Période de mesure, $T$ [s]
0,0055	$0,05 \leq T \leq 1000$
0,0002	$T > 1000$
NOTE – Ces prescriptions découlent de l'examen de la Rec. UIT-T G.811 [8].	

### 10.6.3 Précision des résultats des mesures

L'erreur de mesure totale (incluant l'erreur imputable à la mesure TIE et l'erreur introduite par l'algorithme de calcul du décalage de fréquence) doit être inférieure à:

$$\pm 7\% \text{ de la valeur du décalage de fréquence } \pm Z_6(T)$$

la valeur  $Z_6(T)$  étant spécifiée au Tableau 18 et  $T$  étant la période de mesure.

**Tableau 18/O.172 – Erreur fixe ( $Z_6$ ) du résultat de la mesure du décalage de fréquence**

$Z_6(T)$ [ns/s]	Période de mesure, $T$ [s]
0,033	$0,05 \leq T \leq 1000$
0,0012	$T > 1000$
NOTE – Ces prescriptions découlent de l'examen de la Rec. UIT-T G.811 [8].	

### 10.7 Mesure de la vitesse de dérive de fréquence

La capacité de mesurer la vitesse de dérive de fréquence, tel qu'elle est définie ci-après, peut être prévue.

La vitesse de dérive de fréquence est la deuxième dérivée de la phase par rapport au temps. La fonction de transfert du processus relatif à la deuxième dérivée croît de manière proportionnelle au carré de la fréquence à laquelle la vitesse de dérive varie. En conséquence, la largeur de bande de mesure doit être limitée. Elle dépend de la période pendant laquelle la vitesse de dérive est calculée à partir d'un ensemble de valeurs TIE  $x_i$ .

La vitesse de dérive (en ns/s<sup>2</sup>) mesurée pendant une période  $T$  est définie comme suit:

$$D(n\tau_0) = \frac{60}{N\tau_0^2} \sum_{i=1}^N x_{n+i} \left[ \frac{6i^2}{N^4 - 5N^2 + 4} - \frac{6i}{N^3 - N^2 - 4N + 4} + \frac{1}{N^2 - 3N + 2} \right]$$

où:

$\tau_0$  est l'intervalle d'échantillonnage exprimé en secondes

$N$  est le nombre d'échantillonnages de phase pendant la période de mesure

$T = N\tau_0$  est la période de mesure exprimée en secondes

$t = n\tau_0$  est le temps au début de la période de mesure

$x_i$  sont les échantillons de phase exprimés en ns

NOTE – Cette mesure affaiblit les éléments de la vitesse de dérive de fréquence qui varient à des fréquences supérieures à  $0,8/T$ . L'utilisateur a choisi la valeur de  $T = N\tau_0$  pour affaiblir le bruit et faire passer les fréquences intéressantes.

#### 10.7.1 Plage de mesure

Pour respecter les spécifications relatives à la mesure de la vitesse de dérive de fréquence énoncées dans diverses Recommandations de l'UIT-T, il doit être possible de mesurer la vitesse de dérive de fréquence pendant une période de mesure d'au moins:

$$0,05 \text{ s} \leq T \leq 10\,000 \text{ s}$$

La plage maximale des résultats du calcul du taux de dérive de fréquence doit être d'au moins:

$$0,06 \text{ ns/s}^2$$

(ce qui correspond à 10 fois la valeur maximale spécifiée dans la Rec. UIT-T G.813 [10]).

#### 10.7.2 Précision de l'algorithme de calcul

Dans certains cas, l'algorithme de calcul de la vitesse de dérive de fréquence peut être fonctionnellement séparé de la mesure de l'erreur TIE; les prescriptions suivantes en matière de précision s'appliquent alors à l'algorithme autonome.

Lorsqu'il s'accompagne d'une série déterminée de données de mesure de l'erreur TIE, l'algorithme utilisé pour calculer la vitesse de dérive de fréquence doit produire des résultats légèrement différents des valeurs calculées selon l'expression type indiquée au § 10.7.

L'erreur totale de calcul du taux de dérive de fréquence doit être inférieure à:

$$\pm 2\% \text{ de la valeur du taux de dérive de fréquence } \pm Z_7(T)$$

la valeur  $Z_7(T)$  étant spécifiée au Tableau 19 et  $T$  étant la période de mesure.

**Tableau 19/O.172 – Erreur fixe ( $Z_7$ ) de l'algorithme de calcul de la vitesse de dérive de fréquence**

$Z_7(T)$ [ns/s <sup>2</sup> ]	Période de mesure, $T$ [s]
$0,5 \cdot T^{-2}$	$0,05 < T < 2500$
$8 \cdot 10^{-8}$	$T > 2500$
NOTE – Ces prescriptions découlent de l'examen de la Rec. UIT-T G.812 [9].	

### 10.7.3 Précision des résultats des mesures

L'erreur de mesure totale (incluant l'erreur imputable à la mesure de l'erreur TIE et l'erreur introduite par l'algorithme de calcul de la vitesse de dérive de fréquence) doit être inférieure à

$$\pm 7\% \text{ de la valeur de la vitesse de dérive de fréquence } \pm Z_8(T)$$

la valeur  $Z_8(T)$  étant spécifiée au Tableau 20 et  $T$  étant la période de mesure.

**Tableau 20/O.172 – Erreur fixe ( $Z_8$ ) du résultat de la mesure de la vitesse de décalage de fréquence**

$Z_8(T)$ [ns/s <sup>2</sup> ]	Période de mesure, $T$ [s]
$T^{-2}$	$0,05 < T < 2500$
$1,6 \cdot 10^{-7}$	$T > 2500$
NOTE – Ces prescriptions découlent de l'examen de la Rec. UIT-T G.812 [9].	

## 11 Fonction de production du bruit de dérapage de l'écart TDEV

La capacité de produire le bruit de dérapage TDEV pour la tolérance de dérapage et les mesures de transfert de dérapage telles qu'elles sont décrites dans les Recommandations UIT-T G.812 [9] et G.813 [10] peut être prévue. Pour que les mesures soient suffisamment précises, robustes et cohérentes, les prescriptions suivantes doivent être observées:

- le générateur de bruit TDEV doit produire un signal d'essai dans les limites de  $\pm 20\%$  du gabarit de tolérance de bruit d'entrée TDEV applicable. Cette précision sera atteinte lorsque la période de mesure  $T \geq 12\tau_{\max}$ , où  $\tau_{\max}$  est la plus grande valeur de  $\tau$  pour le gabarit;
- l'erreur MTIE du signal d'essai ne doit pas dépasser la limite supérieure définie à l'Annexe C;
- le signal d'essai doit être déterministe et doit pouvoir être répété, c'est-à-dire qu'il peut commencer au même point de la fonction temporelle du signal.

Le paragraphe II.2/G.812 [9] indique à titre d'exemple un algorithme d'implémentation approprié pour la production d'un signal de bruit de dérapage TDEV.

Le paragraphe II.1/G.812 [9] donne des renseignements additionnels concernant l'application du signal de bruit de dérapage TDEV.

NOTE – Le signal peut dépasser les limites de tolérance correspondantes de l'erreur MTIE. Etant donné que les prescriptions relatives à l'écart TDEV et à l'erreur MTIE doivent être satisfaites pour une interface d'entrée, les limites de l'écart TDEV peuvent être plus strictes et, en conséquence, le dépassement des valeurs de l'erreur MTIE peut être toléré.

## 12 Fonction de production de bruit de dérapage MTIE

Pour mesurer la tolérance au dérapage, on peut utiliser la capacité de produire du bruit de dérapage MTIE comme indiqué dans les Recommandations UIT-T G.812 [9] et G.813 [10]. Pour garantir des mesures suffisamment précises, fiables et cohérentes, il faut satisfaire aux conditions suivantes:

- a) le générateur de bruit MTIE doit produire un signal de test ou un ensemble de signaux de test dont la charge se situe dans les  $\pm 5\%$  du gabarit de tolérance de bruit d'entrée MTIE applicable. Pour un ensemble de signaux de test, on considère que la charge correspond à l'enveloppe supérieure de l'ensemble de courbes MTIE correspondantes;
- b) la gigue produite par le générateur de bruit MTIE ne dépassera pas les limites applicables à la gigue de sortie de l'interface réseau.

NOTE – Lorsqu'on évalue un ensemble de test au plan de la conformité avec ces conditions, il faut mesurer le dérapage produit avec un filtre passe-bas dont la largeur de bande est appropriée afin que l'effet sur la MTIE mesurée soit inférieur à 1%. Voir dans l'Appendice VI les orientations sur l'évaluation de la production de bruit de dérapage MTIE.

## 13 Conditions de fonctionnement

Les prescriptions de performance devront être observées en cas de fonctionnement dans les conditions climatiques spécifiées au § 2.1/O.3 [16].

# Annexe A

## Signaux d'essai structurés pour la mesure de la gigue

### A.1 Introduction

Il importe de définir les signaux d'essai à utiliser pour les mesures de la gigue, et ce d'autant plus lorsque ces mesures sont effectuées sur des systèmes optiques SDH, du fait que le système d'embrouillage ne limite pas la longueur des séries de "0" ou de "1" qui peuvent exister sur un signal de ligne, c'est-à-dire l'intervalle de temps maximale pendant lequel le signal brouillé ne connaît aucune transition de donnée. La Rec. UIT-T G.707/Y.1322 [4] donne plus de précision sur la structure des signaux SDH et l'embrouillage de charge utile.

Par exemple, si le trafic d'un signal STM-N émule le schéma d'embrouillage, on verra apparaître de nombreux octets composés uniquement de zéros ou de uns dans le signal de ligne codé. Etant donné que de telles conditions extrêmes ne se produiront que rarement, et qu'un appareil de mesure de la gigue pourra très difficilement conserver sa précision de mesure en pareilles conditions, il importe de définir un signal représentatif du cas le moins favorable aux fins de la spécification de l'appareil de mesure.

#### A.1.1 Conditions de mesure des charges utiles

Les charges utiles concaténées constituent le scénario le moins favorable pour des signaux d'essai STM-N. Pour des signaux concaténés remplis en une seule opération par une séquence binaire pseudo-aléatoire (PRBS, *pseudo random bit sequence*) de  $2^{23} - 1$  bit occupant la totalité du conteneur, l'embrouillage de ces données aura pour effet, dans le cas le moins favorable, de faire défiler 30 chiffres identiques ("0" ou "1") consécutifs (c'est-à-dire qu'il s'écoulera 30 périodes d'horloge pendant lesquelles le signal de ligne ne connaîtra aucune transition). Pour des charges utiles non concaténées, produites par des appareils de mesure SDH, l'entrelacement des octets des conteneurs VC-4 réduit la longueur maximale de ces défilements.

## A.1.2 Conditions applicables aux octets de surdébit SDH

On prendra soin, dans le choix du contenu binaire des multiplets J0 et Z0 ainsi que des multiplets réservés à l'usage national qui sont exclus du processus d'embrouillage du signal STM-N, de faire en sorte que de longues séquences de "1" ou de "0" ne se produisent pas.

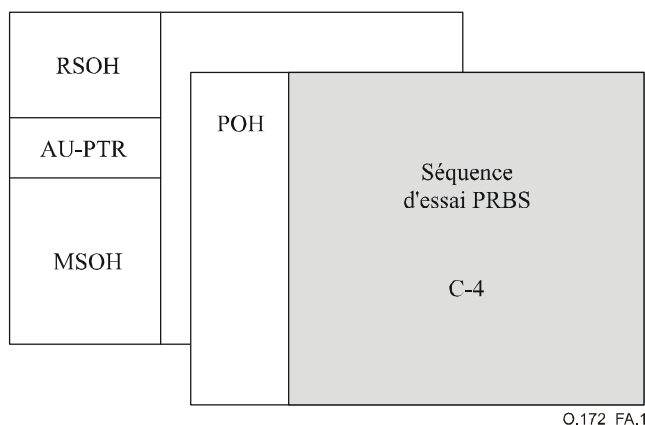
Le contenu de ces octets de surdébit doit être établi selon le schéma "10101010" (AA<sub>H</sub>) ou "11001100" (CC<sub>H</sub>).

## A.2 Structure du signal d'essai pour des signaux STM-N

### A.2.1 Signal STM-1

La structure du signal d'essai STM-1 représentée sur la Figure A.1 consiste en une séquence d'essai PRBS d'une longueur de  $2^{23} - 1$  bit, conforme à la Rec. UIT-T O.150 [17] et appliquée à tous les octets du conteneur C-4.

NOTE – Cette structure est équivalente à la structure du signal de test 1 (TSS1, *test signal structure 1*) définie dans l'Annexe C/O.181 [19].



**Figure A.1/O.172 – Structure de signal d'essai pour la mesure de la gigue de l'interface STM-1**

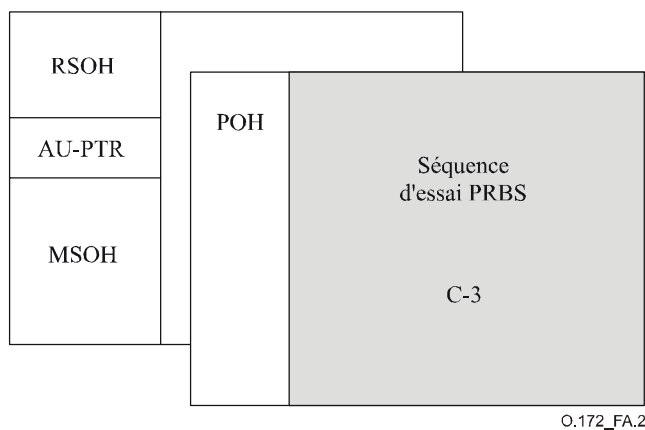
### A.2.2 Signal STM-N (N ≥ 4)

Le signal d'essai TSS1, décrit au § A.2.1, doit être utilisé.

Les containers de charge utile C-4 (N-1) qui ne contiennent pas le signal d'essai doivent contenir une séquence fixe d'octets composée uniquement de "0" ou de "1" ou peuvent contenir un conteneur virtuel VC-4 non équipé tel que défini dans la Rec. UIT-T G.783 [6].

### A.2.3 Signal STM-0

La structure de signal d'essai STM-0 représentée sur la Figure A.2 consiste en une séquence d'essai PRBS d'une longueur de  $2^{23} - 1$  bit conforme à la Rec. UIT-T O.150 [17] et appliquée à tous les octets du conteneur C-3.



O.172\_FA.2

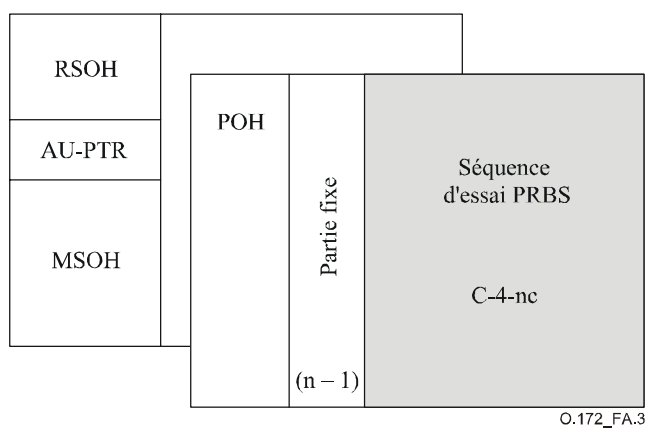
**Figure A.2/O.172 – Structure de signal d'essai pour la mesure de la gigue de l'interface STM-0**

### A.3 Structure de signal d'essai pour signaux STM-N concaténés

#### A.3.1 Signal STM-N ( $N \geq 4$ )

La structure du signal de test STM-N représentée sur la Figure A.3 consiste en une séquence d'essai PRBS d'une longueur de  $2^{23} - 1$  bit ou  $2^{31} - 1$  bit pour STM-N ( $N \geq 64$ ) conforme à la Rec. UIT-T O.150 [17] qui est appliquée à tous les octets de charge utile du conteneur concaténé C-4-Xc.

NOTE – Ceci est équivalent à la structure de signal d'essai 9 (TSS9, *test signal structure 9*) définie dans l'Annexe C/O.181 [19].



O.172\_FA.3

**Figure A.3/O.172 – Structure de signal d'essai pour la mesure de la gigue de l'interface STM-N concaténé**

## Annexe B

### Définition de l'erreur de pente de phase crête à crête en largeur de bande limitée

Lorsque la modulation de phase sinusoïdale est utilisée pour accentuer une boucle à verrouillage de phase (PLL, *phase-locked loop*), ce phénomène est proportionnel à la phase crête à crête quand la fréquence de modulation est supérieure à la largeur de bande de la boucle PLL et il est proportionnel à la pente de phase crête à crête quand la fréquence de modulation est inférieure à la largeur de bande. Une distorsion de la modulation sinusoïdale produite peut provoquer une erreur additionnelle au niveau de la pente de phase. Le paragraphe 8.6.2 définit les limites applicables à l'erreur de pente de phase.

La pente de phase est mesurée au moyen d'une procédure fonctionnellement équivalente à celle qui est illustrée à la Figure B.1. Le différenciateur détermine la pente de la phase et le filtre passe-bas est un filtre de premier ordre avec une fréquence de coupure  $f_{3dB}$ , avec  $f_{3dB} = 2 \cdot f_3 \pm 10\%$ , et  $f_3$  étant défini au Tableau 3 pour les signaux de ligne SDH et au Tableau 3a pour les signaux d'affluent SDH.

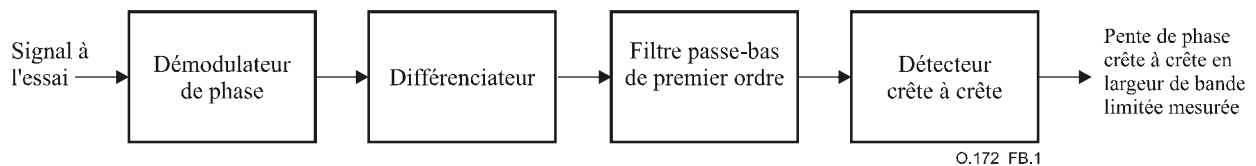


Figure B.1/O.172 – Fonction de mesure de la pente de phase

Si la fonction de production de gigue/dérage était une sinusoïde parfaite avec une amplitude de phase crête à crête (en UIpp) exactement égale à la "valeur définie" et une fréquence de modulation  $f_m$ , la pente de phase crête à crête telle qu'elle est mesurée au moyen d'un filtre passe-bas de premier ordre serait comme suit:

$$\text{Valeur idéale de la pente de phase crête à crête en largeur de bande limitée} = \frac{(\text{valeur définie}) \cdot 2\pi f_m}{\sqrt{1 + (f_m / f_{3dB})^2}}$$

Etant donné que l'amplitude de phase réelle n'est généralement pas égale à l'amplitude de phase définie, que la fréquence de modulation réelle n'est pas égale à  $f_m$ , et que la modulation n'est pas une sinusoïde parfaite, la valeur mesurée de la pente de phase crête à crête en largeur de bande limitée ne sera pas égale à la valeur idéale indiquée ci-dessus. La différence entre la valeur mesurée et la valeur idéale est définie comme étant l'erreur de pente de phase crête à crête en largeur de bande limitée.



## Annexe C

### Limite supérieure de l'erreur MTIE pour le bruit de dérapage TDEV

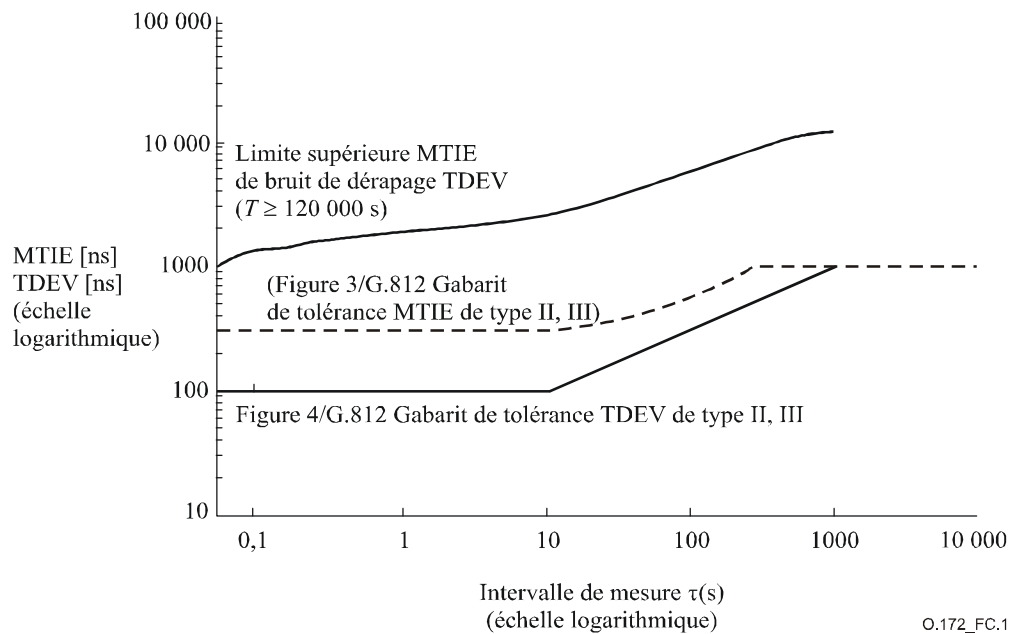
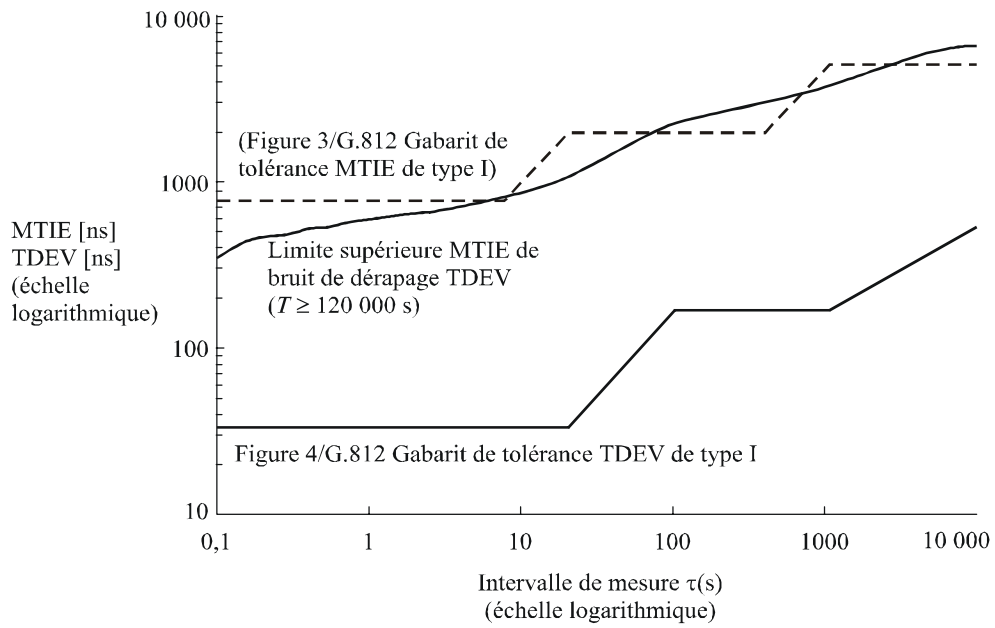
La présente annexe définit la limite supérieure de l'erreur MTIE pour le bruit de dérapage TDEV qu'il faut utiliser pour les tests de tolérance au dérapage et de transfert de dérapage spécifiés dans les Recommandations UIT-T G.812 et G.813. L'erreur MTIE pour le bruit de dérapage TDEV ne doit pas être inférieure à la limite d'erreur MTIE supérieure afin d'éviter d'appliquer une charge MTIE excessive au dispositif soumis au test.

L'erreur  $MTIE(\tau)$  pour la sortie du signal de test du générateur de bruit TDEV doit satisfaire à la relation suivante:

$$MTIE(\tau) \leq 7 \sqrt{4K_1 \int_{K_2/\tau_{\max}}^{K_2/\tau_{\min}} \left( TDEV\left(\frac{K_2}{f}\right) \right)^2 \frac{\sin(\pi\tau f)}{f} df}$$

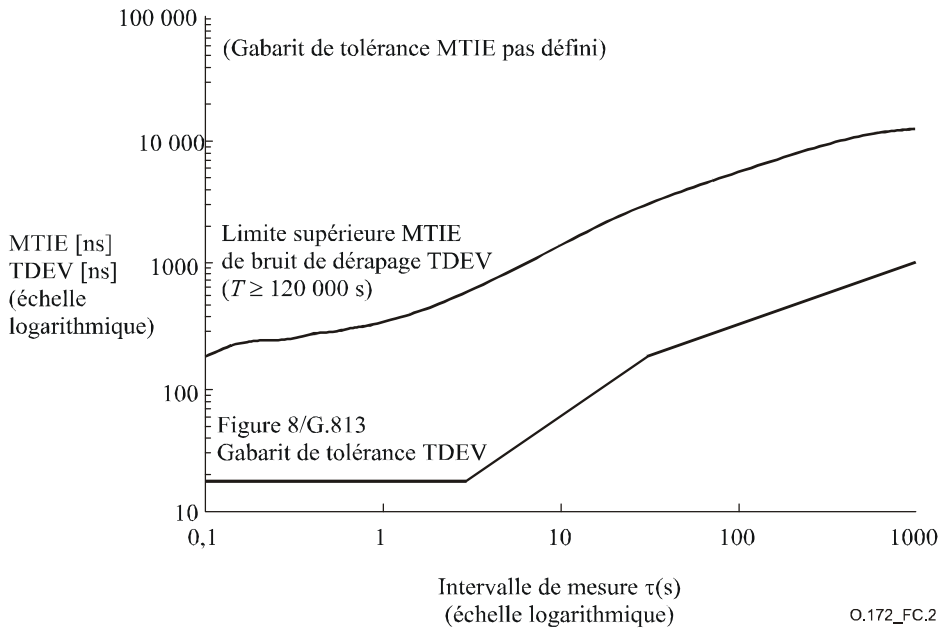
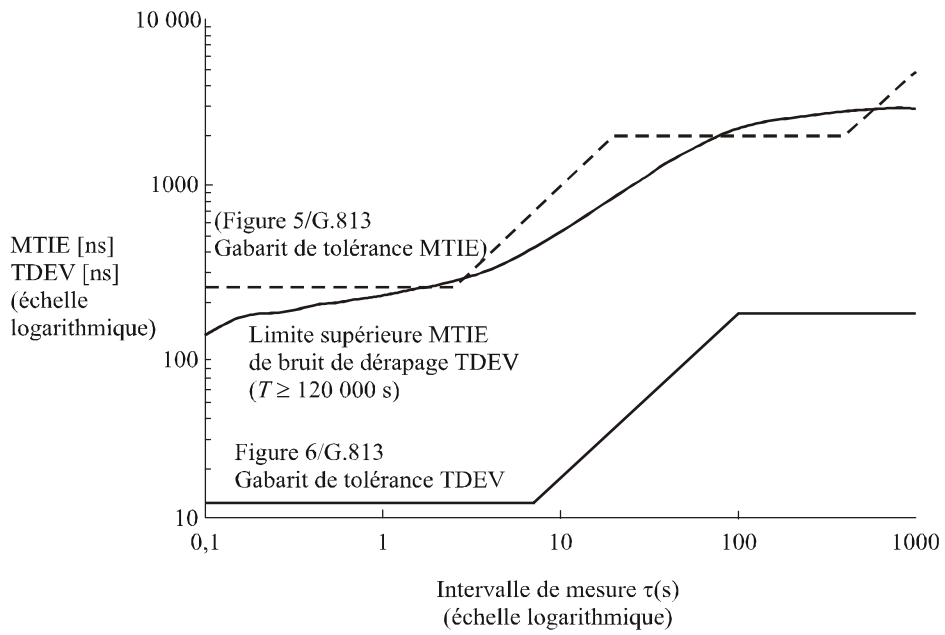
où  $K_1 = 0,84$  et  $K_2 = 0,42$ ,  $\tau_{\min} \leq \tau \leq \tau_{\max}$  et  $T \geq 12\tau_{\max}$ , où  $\tau$  est l'intervalle d'observation et  $T$  est la période de mesure.  $\tau_{\min}$  et  $\tau_{\max}$  sont les intervalles d'observation le plus petit et le plus grand spécifiés pour le gabarit TDEV correspondant. L'erreur TDEV( $\tau$ ) du gabarit TDEV correspondant est substituée pour TDEV( $K_2/f$ ) dans le côté droit de l'équation.

Les Figures C.1 et C.2 montrent des exemples de gabarits TDEV et les limites de MTIE correspondantes pour les bruits de dérapage. A titre de référence, le gabarit de tolérance MTIE spécifié pour le même équipement est également représenté par un trait discontinu dans chaque figure.



O.172\_FC.1

**Figure C.1/O.172 – Limite supérieure MTIE pour le test de dérapage admissible G.812**



O.172\_FC.2

**Figure C.2/O.172 – Limite supérieure MTIE pour le test de dérapage admissible G.813**

## Appendice I

### Directives concernant la mesure de la gigue dans les systèmes de la hiérarchie numérique synchrone

Bien qu'il s'applique aux systèmes de la hiérarchie numérique plésiochrone (PDH, *plesiochronous digital hierarchy*), l'Appendice I/O.171 [18], "Directives concernant la mesure de la gigue", peut également être consulté à titre indicatif en ce qui concerne les principes généraux de mesure de la gigue dans les systèmes de la hiérarchie numérique synchrone (SDH, *synchronous digital hierarchy*).

## Appendice II

### Directives concernant la mesure du dérapage dans les systèmes de la hiérarchie numérique synchrone

#### II.1 Mesures du dérapage

##### II.1.1 Généralités sur les configurations de mesure du dérapage

En raison de la basse fréquence des variations de phase à évaluer (voir la définition donnée au § 3), le dérapage est une grandeur dont la mesure exige une configuration spéciale. Dans le cadre des mesures de la gigue, le signal de rythme de référence qui est généralement produit localement – à l'aide d'une boucle à verrouillage de phase (PLL) dans l'appareil de mesure – est obtenu d'après la phase moyenne du signal à mesurer. On ne peut réaliser une telle boucle PLL pour faire face aux prescriptions relatives aux mesures du dérapage.

C'est pourquoi les mesures du dérapage exigent toujours un signal d'horloge de référence externe d'une stabilité appropriée.

Les paragraphes II.1.2 et II.1.3 reprennent les informations données dans la Rec. UIT-T G.810 [7] sur les configurations d'essai à utiliser pour les mesures du dérapage.

##### II.1.2 Mesures de dérapage synchronisées

La Figure II.1 représente sous forme très générale le schéma de principe du montage à réaliser pour la mesure synchronisée du dérapage.

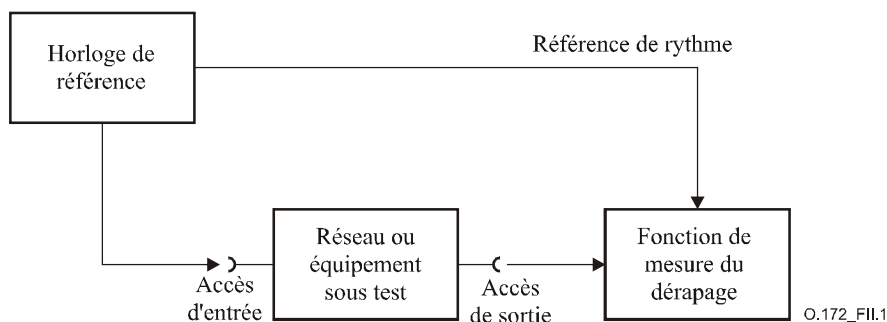


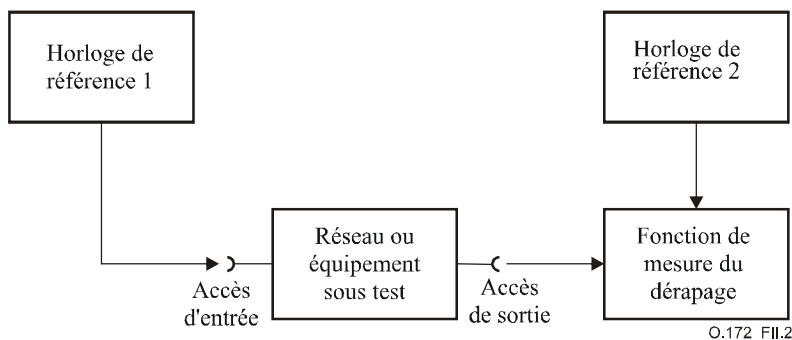
Figure II.1/O.172 – Configuration pour les mesures de dérapage synchronisées

Cette configuration est applicable si les signaux de rythme nécessaires pour procéder aux mesures peuvent être obtenus à l'aide d'une horloge de référence commune. En d'autres termes, seules des

mesures en boucle – dans lesquelles les accès d'entrée et de sortie de l'appareil à l'essai sont accessibles sur place – peuvent être effectuées de cette manière. Dans ce montage, le résultat des mesures n'est pas affecté par les variations de phase de l'horloge de référence. Par conséquent, les valeurs à observer en ce qui concerne la stabilité de l'horloge de référence ne sont pas très élevées et peuvent être atteintes avec un appareil d'essai portable.

### II.1.3 Mesures de dérapage non synchronisées

Le schéma de principe du montage pour les mesures de dérapage non synchronisées est représenté sur la Figure II.2.

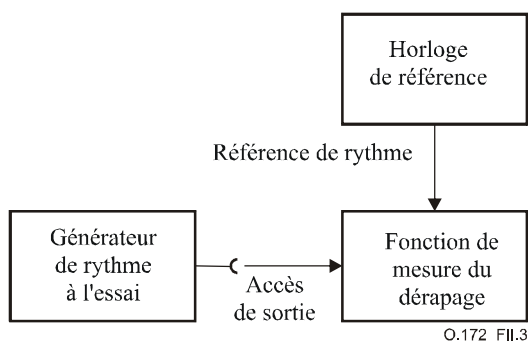


**Figure II.2/O.172 – Configuration pour les mesures de dérapage non synchronisées**

Cette configuration s'applique aux mesures du dérapage dans les cas où les accès d'entrée et de sortie du réseau ou de l'équipement sous test ne se trouvent pas au même endroit (mesures de bout en bout, par exemple). Dans ce montage, le résultat des mesures est affecté par toute dérive de fréquence ou de phase des deux horloges utilisées pour les mesures. En d'autres termes, la stabilité des deux horloges doit être plus grande d'au moins une puissance de dix que la grandeur à mesurer. Les appareils d'essai portables peuvent ne pas être munis de telles horloges de référence; la synchronisation sur une référence externe est alors nécessaire.

## II.2 Mesures de la stabilité de l'horloge

Le montage à utiliser pour la mesure de la stabilité d'une horloge est analogue à celui qui est décrit ci-dessus au § II.1.3. Il est représenté sur la Figure II.3.



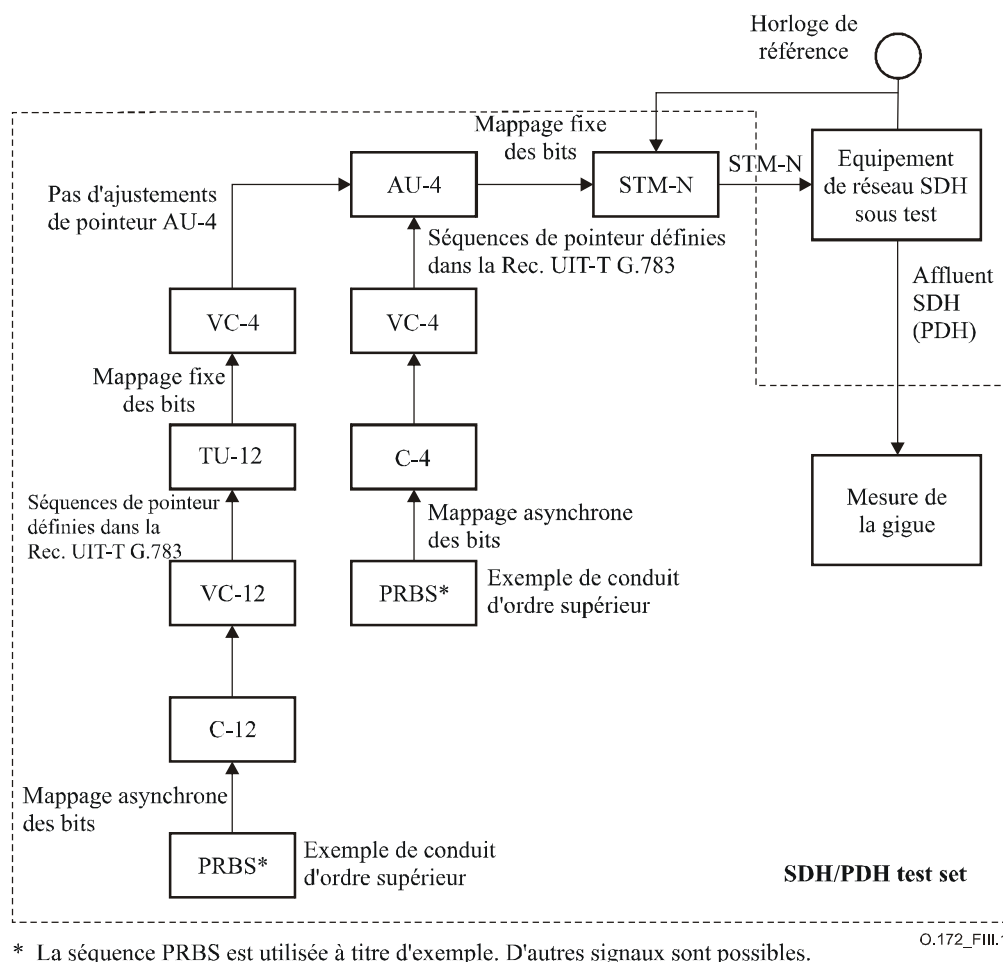
**Figure II.3/O.172 – Configuration de mesure de la stabilité de l'horloge**

Dans cette configuration également, le résultat des mesures est affecté par toute dérive de fréquence ou de phase de l'horloge de référence utilisée pour les mesures. Les considérations énoncées au § II.1.3 s'appliquent également au cas considéré ici.

## Appendice III

### Directives concernant la production de séquences d'essai de pointeur

Le schéma de principe représenté à la Figure III.1 et le texte ci-après décrivent une méthode de production des séquences d'essai de pointeur définies dans la Rec. UIT-T G.783 [6] et qui sont décrites au 8.4.1. Ladite figure ne décrit pas une implémentation particulière.



**Figure III.1/O.172 – Schéma de principe du montage pour la production de séquences d'essai de pointeur**

La production d'une séquence d'essai du pointeur conforme à la Rec. UIT-T G.783 [6] oblige à prendre en compte les considérations suivantes au niveau des capacités de l'appareil de mesure, de la configuration de mesure et de l'utilisateur de l'appareil de mesure:

- l'appareil de mesure SDH/PDH et l'élément de réseau doivent être synchronisés sur la même horloge de référence, de manière à éliminer tout événement de justification de pointeur incontrôlé qui risquerait de fausser les résultats;
- pour mesurer la valeur conjuguée de la gigue du pointeur et de la gigue de mappage, on doit pouvoir régler la fréquence de la séquence PRBS/PDH sur l'une des valeurs de décalage PDH définies dans la Rec. UIT-T G.703 [3];
- pour mesurer uniquement la gigue de mappage, on doit pouvoir supprimer les actions de justification de pointeur;

- d) pour produire la séquence de bourrage de bits aux fins de mappage asynchrone des bits, il convient de produire à intervalles réguliers des justifications de même polarité. Le processus de mappage doit être conforme au § 15.2.3.1/G.783 [6];
- e) la création des événements de justification de pointeur devrait être indépendante du processus de mappage;
- f) pour créer des séquences d'essai de pointeur d'unité TU-m d'ordre inférieur, il convient de déterminer le pointeur d'unité AU-n d'ordre supérieur;
- g) les fonctions de "séquences de pointeur" et "de mappage de bits" impliquent des décalages de fréquence entre les horloges qui pilotent les divers blocs fonctionnels.

## Appendice IV

### Réponse en fréquence globale pour la fonction de mesure de la gigue

#### IV.1 Introduction

Le paragraphe 9.3.2 spécifie les filtres à utiliser pour la mesure de la gigue sur des affluents SDH. Ces spécifications fixent les limites applicables aux différentes caractéristiques des filtres: fréquences de coupure de  $-3$  dB, tolérance de gain, ondulation en bande passante, etc.

Ces caractéristiques supposent l'existence de limites équivalentes applicables aux réponses globales en fréquence des fonctions de mesure de la gigue. Le présent appendice indique la manière dont on peut combiner les différentes caractéristiques des filtres en une réponse en fréquence unique, dont la caractéristique ne dépasse pas les limites des masques.

#### IV.2 Caractéristiques des filtres de mesure

Le Tableau IV.1 récapitule les caractéristiques des filtres de mesure et leurs définitions. Dans les descriptions des limites de masque présentées ci-dessous, si la valeur d'une caractéristique donnée du filtre considéré n'est pas spécifiée, il convient d'utiliser la valeur par défaut indiquée au Tableau IV.1.

**Tableau IV.1/O.172 – Récapitulation des caractéristiques des filtres de mesure**

Paramètre du filtre de mesure	Définition du paramètre
$n$	Ordre du filtre ( $n = 1$ pour le premier ordre, $n = 3$ pour le troisième ordre).
$f_x$	Fréquence ou largeur de bande de coupure nominale à $-3$ dB.
$a$	Tolérance fractionnaire ( $\pm$ ) sur la fréquence de coupure. Par défaut: pas de spécification.
$f_p$	Fréquence du deuxième pôle de filtrage. Par défaut: 0 pour passe-haut, $\infty$ pour passe-bas.
$g$	Tolérance fractionnaire selon le § 9.3.2 c).
$r$	Ondulation de la bande passante ( $\pm$ ) en décibels. Valeur par défaut: 0.
$c$	Affaiblissement minimal-maximal en décibels. Par défaut: pas de spécification.

### IV.3 Limites de masquage pour la réponse du filtre de mesure passe-haut

Les limites supérieure et inférieure du masque pour la réponse en fréquence sont les grandeurs  $Upper(f)$  et  $Lower(f)$  définies ci-dessous. Ces limites s'appliquent à la gamme de fréquences  $f < 10f_x$ .

$$U = \begin{cases} U(f) + r, & f > f_x \\ -c, & U(f) < -c \\ U(f), & \text{sinon} \end{cases}$$

où:

$$U(f) = 20 \cdot \log \left[ \frac{(1-g)f^n}{\sqrt{f^{2n} + ((1+a)f_x)^{2n}}} \right] \quad (IV-1)$$

$$Lower(f) = \begin{cases} L(f) - r, & f > f_x \\ -\infty, & L(f) < -c \\ L(f), & \text{sinon} \end{cases}$$

où:

$$L(f) = 20 \cdot \log \left[ \frac{(1-g)f^n}{\sqrt{f^{2n} + ((1+a)f_x)^{2n}}} \frac{f}{\sqrt{f^2 + f_p^2}} \right] \quad (IV-2)$$

#### IV.3.1 Filtre passe-haut pour la mesure de la gigue d'affluent SDH

Par exemple, le filtre de mesure de gigue d'affluent SDH, spécifié pour le débit de 2048 kbit/s, a les paramètres suivants:  $n = 1$ ,  $f_x = 20$  Hz,  $a = 0,1$ ,  $f_p = 0,1$  Hz,  $g = 0,07$ ,  $r = 0$  et  $c = 60$  dB. Les limites supérieure et inférieure du masque pour la réponse en fréquence de la fonction de mesurage de la gigue sont alors telles que représentées sur la Figure IV.1.

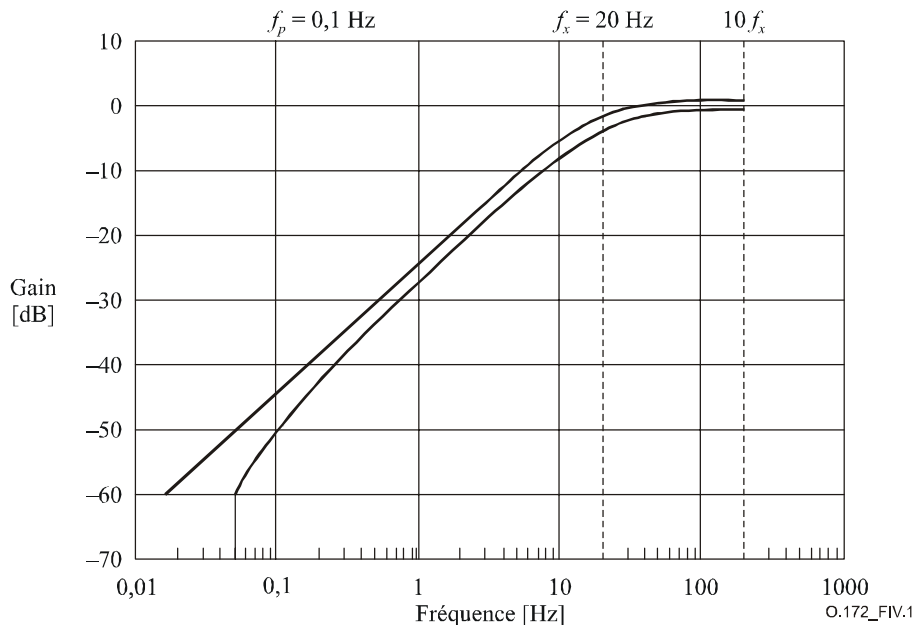


Figure IV.1/O.172 – Limites de masque pour filtre passe-haut de mesure de gigue à 2048 kbit/s à 20 Hz



En général, lorsque la réponse en fréquence pour la fonction de mesure de la gigue d'un appareil d'essai se trouve dans la partie supérieure ou inférieure du masque, l'erreur de mesure (crête à crête ou quadratique moyenne) est d'amplitude maximale; les autres réponses pour la fonction de mesure produiront moins d'erreurs. La superposition de  $g = -0,07$  avec  $a = +0,10$  ou de  $g = +0,07$  avec  $a = -0,10$  aboutit à une extension des points de croisement des limites du masque avec le niveau  $-3$  dB. En conséquence, les limites correspondant au niveau  $-3$  dB peuvent dépasser les limites  $a = \pm 10\%$  spécifiées pour la fréquence de coupure nominale de  $-3$  dB.

## Appendice V

### Vérification des algorithmes de calcul des écarts MTIE et TDEV

#### V.1 Description fonctionnelle de la source de bruit TIE

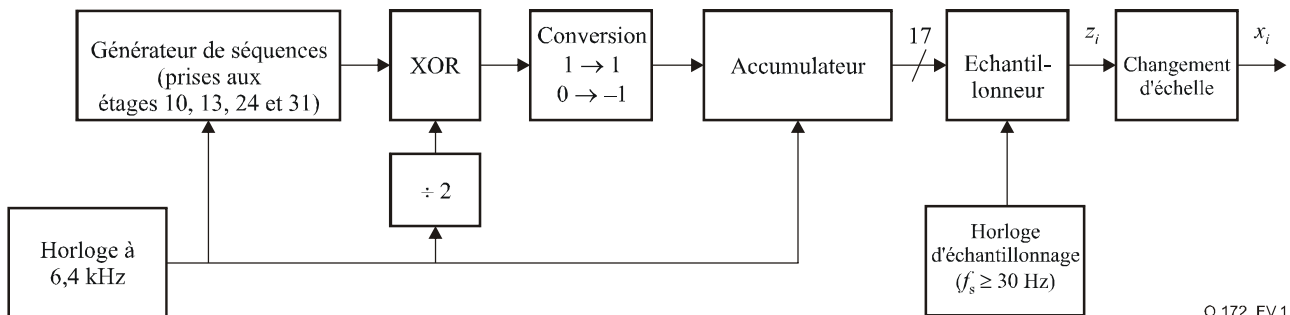
Pour vérifier la précision des algorithmes autonomes de calcul d'écart MTIE et TDEV (voir § 10.4.2 et 10.5.2), l'on peut faire appel à une source de bruit TIE définie.

Les spécifications de précision pour algorithme de calcul d'écart MTIE et TDEV (voir § 10.4.2 et 10.5.2) s'appliquent en principe à tous les signaux TIE permettant de calculer les écarts MTIE et TDEV. Comme il n'est pas pratique de contrôler de nombreux types de signaux, un simple générateur de séquences TIE peut être utilisé pour l'évaluation. Cette séquence devrait avoir une densité spectrale de puissance égale à  $1/f^2$  et une fonction de répartition statistique approximativement gaussienne (satisfaisant aux critères de l'Annexe C).

#### V.2 Premier exemple de générateur de bruit TIE

Un générateur de bruit TIE satisfaisant aux critères susmentionnés est représenté à la Figure V.1. Il fait appel à une séquence binaire pseudo-aléatoire (PRBS) d'une longueur de 31 étages. La sortie du générateur de séquence PRBS est une séquence pseudo-aléatoire composée de valeur 1 s et 0 s. La sortie du générateur de bruit TIE est une série de nombres  $x_i$  à une fréquence  $f_s$ , où les nombres, en nanosecondes (ns), sont pondérés par l'algorithme à l'essai et  $f_s$  est la réciproque de l'intervalle d'échantillonnage attendue par l'algorithme (non inférieure à 30 Hz).

Noter que, bien que l'horloge du système soit à 6,4 kHz, les nombres  $x_i$  sont produits à un débit inférieur de  $f_s$  par sous-échantillonnage. La séquence de ce générateur de bruit TIE se répète après 671 000 secondes. Les nombres  $z_i$  précédant le changement d'échelle ont une plage dynamique de 99 123 crête à crête. Le facteur d'échelle indiqué à la Figure V.1 est choisi de manière à correspondre à la pondération LSB de l'algorithme à l'essai de sorte que la plage dynamique de la sortie  $x_i$  corresponde à 50 000 ns crête à crête.



O.172\_FV.1

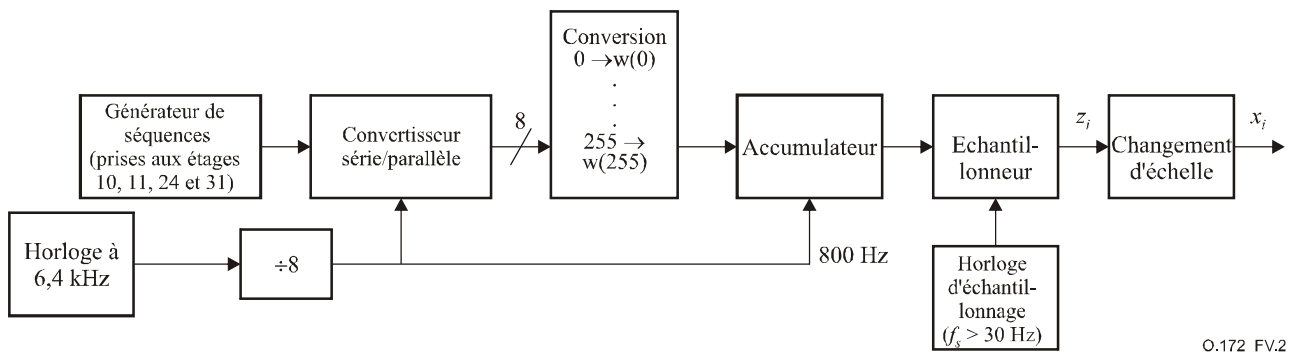
Figure V.1/O.172 – Source de bruit TIE utilisée pour la vérification des algorithmes de calcul d'écart MTIE et TDEV

### V.3 Deuxième exemple de générateur de bruit TIE

Un autre générateur TIE utilisé pour tester les algorithmes de calcul d'écart MTIE et TDEV est représenté à la Figure V.2. Il est différent de celui qui est illustré à la Figure V.1 principalement en raison de la fonction de mappage,  $w(n)$  étant les nombres en virgule flottante compris entre  $-2,884$  et  $2,884$  définis par l'équation suivante:

$$\frac{n + 0,5}{256} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{w(n)} e^{-0,5t^2} dt$$

La séquence de sortie  $x_i$  a une période de répétition de 335 500 secondes et la plage dynamique de  $z_i$  avant le changement d'échelle est de 64 167 crête à crête. Le facteur d'échelle indiqué à la Figure V.2 est choisi de manière à correspondre à la pondération LSB de l'algorithme à l'essai de sorte que la plage dynamique de la sortie  $x_i$  corresponde à 50 000 ns crête à crête.



O.172\_FV.2

**Figure V.2/O.172 – Autre source de bruit TIE utilisée pour vérifier les algorithmes de calcul d'écart MTIE et TDEV**

## Appendice VI

### Evaluation de la production de MTIE

La condition imposée à la capacité de produire un gabarit de tolérance au dérapage de l'instrument de test est que la spécification de la précision doit être satisfaite sans atténuation d'un filtre passe-bas de mesure du dérapage. Cela revient à dire que même si la production de la tolérance au dérapage est conforme aux spécifications, la mesure de la MTIE peut présenter des effets d'atténuation provenant du filtre de mesure du dérapage, généralement de 10 Hz. Pour obtenir une mesure précise de l'onde de charge MTIE, il est recommandé d'utiliser une largeur de bande dont l'effet sera inférieur à 1% du résultat, soit un minimum de 500 Hz.

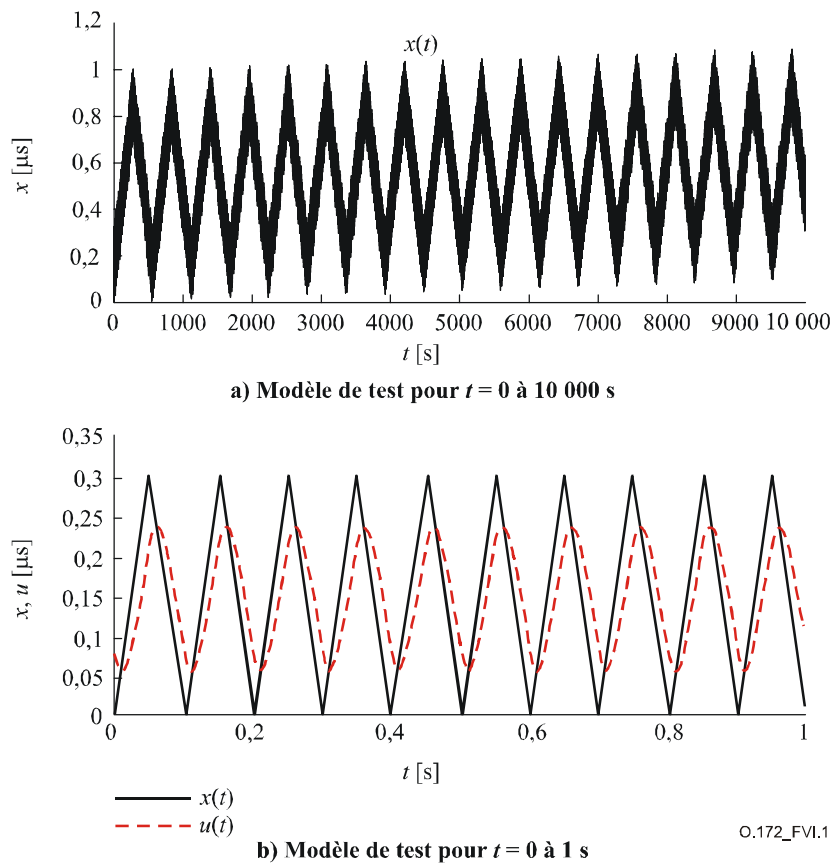
L'exemple ci-dessous est constitué de deux ondes MTIE, toutes deux conformes à la présente Recommandation et produisant la charge MTIE correcte pour l'interface du réseau en question (Tableau 10/G.812).

La Figure VI.1 montre la première onde et l'effet d'un filtre de mesure du dérapage de 10 Hz, la Figure VI.2 montrant la MTIE correspondante. La Figure VI.3 montre l'onde et l'effet d'un filtre de mesure du dérapage de 500 Hz; enfin, la Figure VI.4 représente la MTIE correspondante. Le résultat de 500 Hz respecte la limite de 1% de la charge MTIE à l'interface alors que la mesure de 10 Hz présente une erreur atteignant 50%.

La Figure VI.5 est une onde modifiée utilisée pour produire la même charge MTIE. La Figure VI.6 présente le résultat mais cette fois dans la limite de 1% mesuré avec un filtre de mesure du dérapage de 10 Hz, pour  $\tau > 0,1$  s.

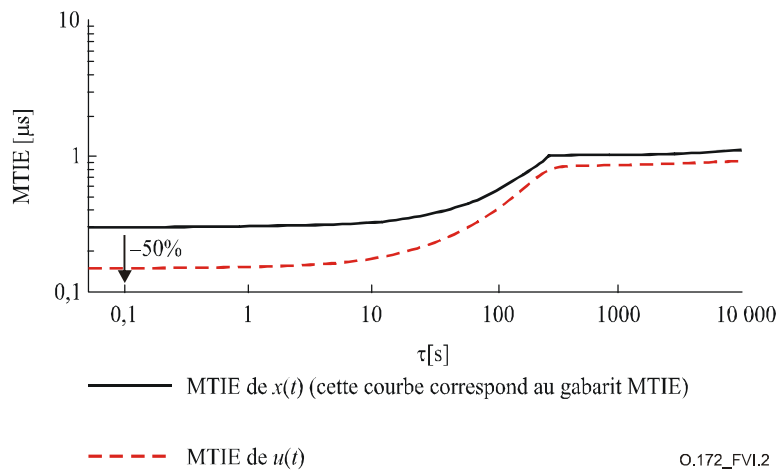
La différence entre les deux ondes de charge MTIE est la largeur de bande minimale nécessaire pour mesurer correctement la charge MTIE maximale produite par chacune d'elles. Chacune donne la charge MTIE correcte mais l'erreur potentielle, lorsqu'on mesure la première onde, dans une largeur de bande de 10 Hz, indique qu'il faut utiliser une largeur de bande d'au moins 500 Hz pour garantir une représentation précise de l'équipement de test.

Les Figures VI.1-a et -b) présentent un diagramme de test  $x(t)$  pour le Tableau 10/G.812. Dans ce cas les transitoires répétitives de la Figure VI.1 sont trois ondes triangulaires superposées,  $w_1(t)$ ,  $w_2(t)$  et  $w_3(t)$ . Leurs amplitudes sont  $A_1 = 0,3$ ,  $A_2 = 0,7$  et  $A_3 = 0,097$   $\mu$ s et leur temps de montée sont  $\tau_1 = 0,05$ ,  $\tau_2 = 280$  et  $\tau_3 = 10\ 000$  s, respectivement. Le trait discontinu de la Figure VI.1-b est le produit  $u(t)$  du filtre de mesure du dérapage de 10 Hz. Dans la Figure VI.1-b, la valeur crête à crête de  $u(t)$  est diminuée parce que la fréquence fondamentale de  $w_1(t)$ , qui est une composante de  $x(t)$ , est égale à la fréquence de coupure du filtre de mesure du dérapage.



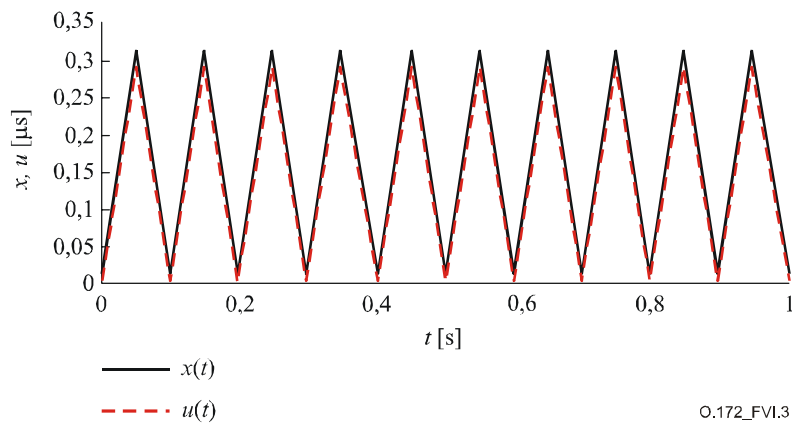
**Figure VI.1/O.172 – Modèle de test pour le gabarit MTIE du Tableau 10/G.812 produit par des transitoires répétitives (filtre de mesure passe-bas de 10 Hz)**

Les MTIE calculées de  $x(t)$  et  $u(t)$  de la Figure VI.1 sont présentées dans la Figure VI.2. La MTIE de  $x(t)$  correspond au gabarit MTIE. Toutefois, la MTIE de  $u(t)$  est inférieure au gabarit MTIE. Comme la fonction de mesure du dérapage ne peut calculer que la MTIE de  $u(t)$ , il est impossible de confirmer si la MTIE du modèle de test  $x(t)$  correspond au gabarit MTIE.

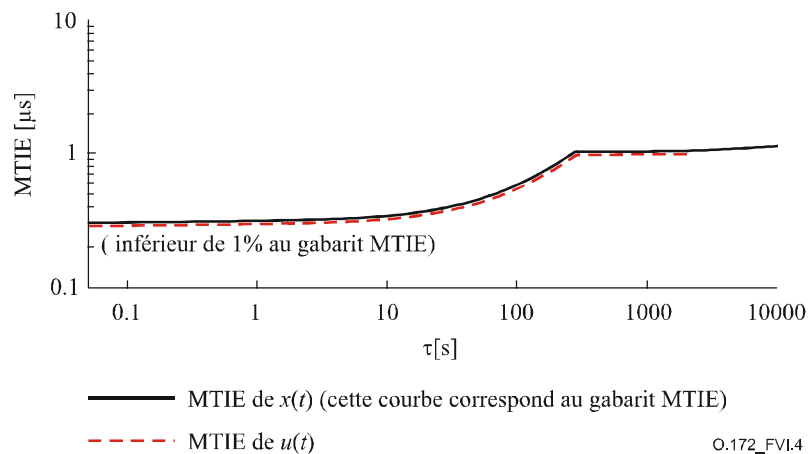


**Figure VI.2/O.172 – MTIE de  $x(t)$  et de  $u(t)$  dans la Figure VI.1**

La Figure VI.3 ci-dessous montre le même signal  $x(t)$  filtré au moyen d'un filtre de mesure du dérapage de 500 Hz, et la Figure VI.4 la MTIE résultante. La charge MTIE mesurée dans un filtre de 500 Hz présente maintenant un écart inférieur à 1% de la MTIE produite.

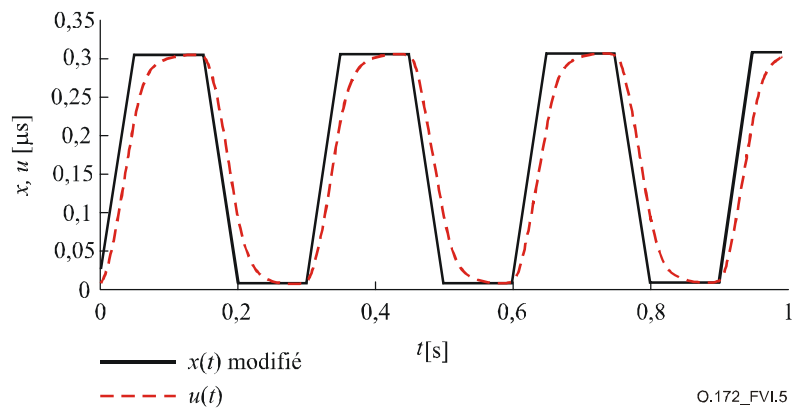


**Figure VI.3/O.172 – Modèle d'essai pour le gabarit MTIE du Tableau 10/G.812 produit par des transitoires répétitives (filtre de mesure passe-bas de 500 Hz)**



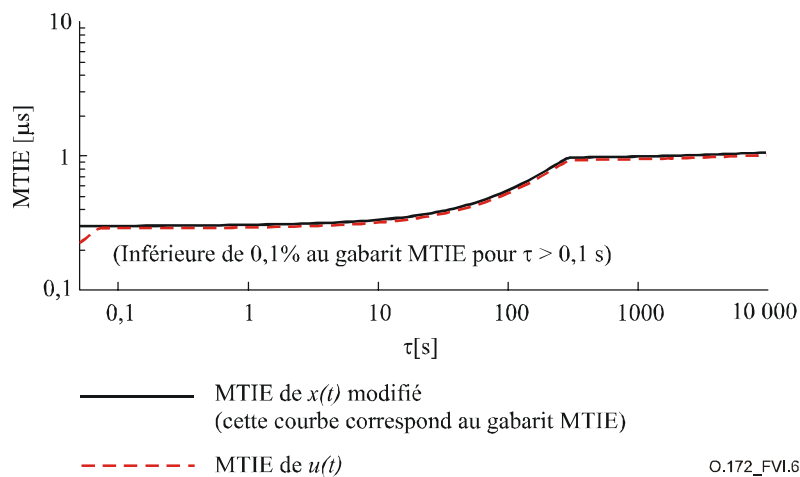
**Figure VI.4/O.172 – MTIE de  $x(t)$  et  $u(t)$  de la Figure VI.3**

La valeur  $x(t)$  modifiée, qui utilise une onde trapézoïdale, est représentée dans la Figure VI.5 par le trait plein. Le trait discontinu,  $u(t)$ , représente l'onde filtrée dans une largeur de bande de 10 Hz.



**Figure VI.5/O.172 – Modèle de test modifié pour  $t = 0$  à 1 s avec transitoires répétitives  $w_1(t)$  de la Figure VI.1-b (filtre de mesure passe-bas de 10 Hz)**

La MTIE du modèle de test modifié  $x(t)$  et la MTIE de  $u(t)$  sont présentées dans la Figure VI.6. La MTIE de  $u(t)$  correspond au gabarit MTIE à 0,1% près pour  $\tau > 0,1$  s.



**Figure VI.6/O.172 – MTIE de  $x(t)$  et  $u(t)$  de la Figure VI.5**

## Appendice VII

### Méthode de vérification de l'exactitude des résultats des mesures et de l'erreur fixe intrinsèque

#### VII.1 Description de la méthode et application

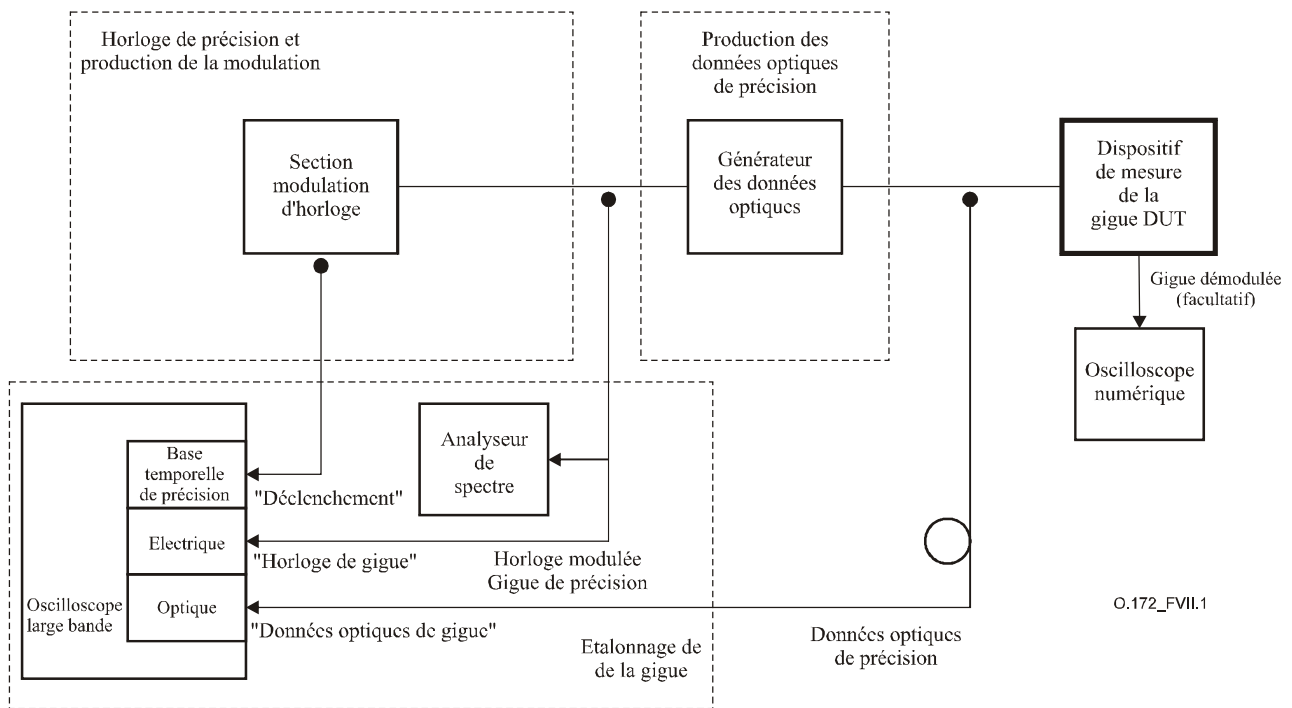
Le présent appendice recommande une méthode et donne des exemples d'implémentation pour vérifier et caractériser l'exactitude des résultats des mesures visées au § 9.4.1. Grâce à cette méthode, l'utilisateur peut "désincorporer" effectivement les contributions d'erreur de l'appareil d'essai du signal qu'il souhaite mesurer; elle permet à un émetteur de référence de haute qualité d'ajouter une modulation sinusoïdale transitoire d'impulsion. La contribution en gigue de l'émetteur de référence, qui dépend de la séquence d'essai, peut être considérée comme négligeable et donc être déduite dans le calcul d'erreur.

On utilise un émetteur optique de haute qualité et un générateur de séquence d'essai présentant une gigue minimale, en fonction de la séquence d'essai, au débit de la ligne soumise à l'essai. Une valeur cible serait inférieure à 10 mUI de crête à crête mesurée dans une largeur de bande comprise entre  $f_1$  et  $f_4$ . Est également décrit un modulateur de gigue générique capable de générer une gigue sinusoïdale d'impulsion. L'une et l'autre techniques peuvent être vérifiées avec du matériel d'essai général. La méthode décrite à l'Appendice VIII peut être utilisée pour vérifier la gigue intrinsèque du générateur optique de séquence d'essai.

L'application vise à permettre aux fabricants et aux utilisateurs du matériel d'essai de caractériser exactement le matériel de mesure de la gigue.

#### VII.2 Implémentation du système

Le système est présenté dans le schéma de la Figure VII.1. La section d'étalonnage sert à caler et à vérifier l'horloge de gigue et les signaux de données optiques. Destiné à mesurer une gigue de faible amplitude, l'essai est conçu pour générer une sinusoïdale transitoire jusqu'à 100 mUI, pour vérifier les mesures de la gigue. Les fréquences de modulation à produire se situent normalement dans la fourchette comprise entre  $f_1$  et  $f_4$ .



**Figure VII.1/O.172 – Schéma du système de vérification**

Les Figures VII.2, VII.3 et VII.4 sont des exemples d'implémentation du système d'essai générique présenté à la Figure VII.1; elles illustrent les différents moyens qui peuvent être utilisés pour produire de façon indépendante des rafales vérifiables de gigue d'horloge et pour supprimer dans un essai optique la gigue de données. Ces exemples n'excluent en aucun cas d'autres méthodes d'implémentation.

La section d'horloge est présentée à la Figure VII.2; l'implémentation utilise deux synthétiseurs de haute qualité, l'oscillateur 1 et l'oscillateur 2, pour générer l'horloge de débit de ligne et la modulation sinusoïdale de la phase de gigue. Les niveaux d'amplitude relatifs de ces oscillateurs détermineront l'amplitude de la gigue créée, et les fréquences relatives la modulation de la gigue. Par exemple, l'oscillateur 1 est l'horloge de débit de ligne, alors que l'oscillateur 2 est réglé sur le débit de ligne plus (ou moins) un décalage – la modulation de la phase sinusoïdale sera générée à la fréquence de décalage, sur l'horloge de ligne.

Il est recommandé d'ajuster les amplitudes relatives des oscillateurs jusqu'à une modulation de phase de 100 mUI, valeur pouvant être étalonnée au moyen de l'analyseur de spectre avec des techniques normales dans le cadre de la théorie FM. Le fonctionnement du générateur d'impulsion sert à déclencher l'horloge de l'oscillateur 2, ce qui permet de maintenir directement la durée des rafales de modulation dans les limites voulues.

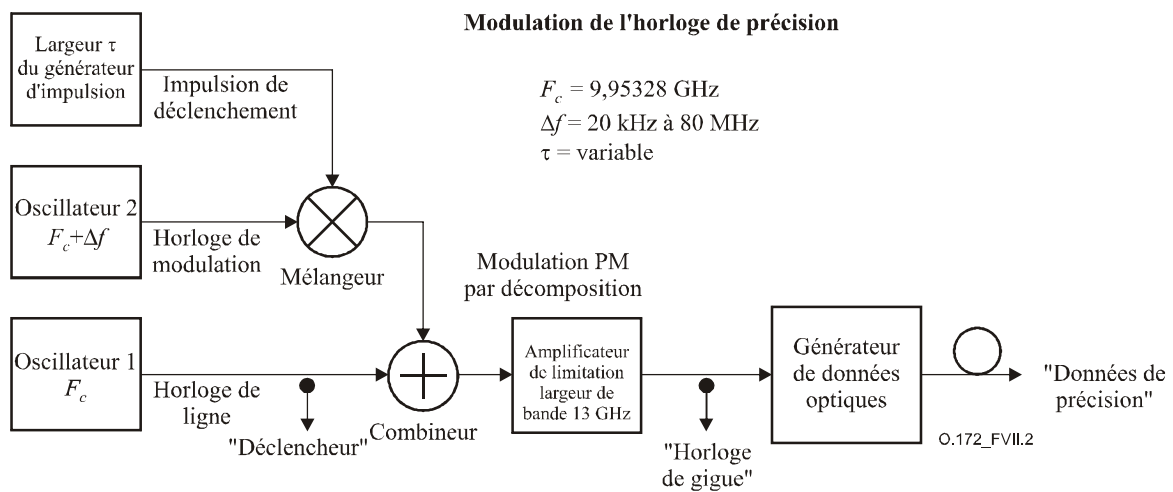
La synchronisation de la rafale de modulation par rapport à la structure de trame fera ultérieurement l'objet d'une étude.

Pour réduire au minimum les possibles discontinuités de phase, la rafale de modulation doit être soit synchronisée par rapport aux zéros du signal de modulation sinusoïdale, soit pourvue d'une durée de transition on/off maximale, donnée approximativement par l'équation suivante:

$$t \approx \frac{0,342}{f_4}$$

Les contributions à la gigue du synthétiseur RF de haute qualité étant similaires à du bruit, elles peuvent être estimées par une analyse du bruit de phase. Il est probable que la contribution à la

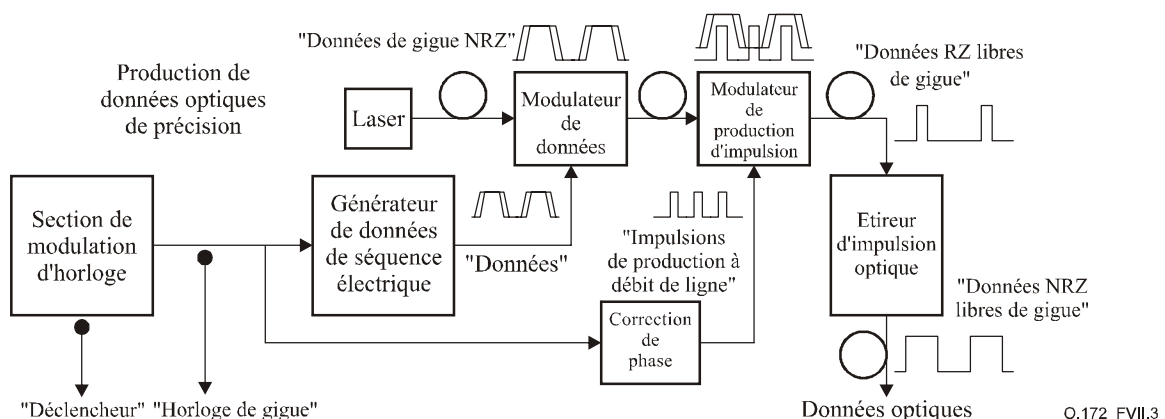
gigue d'un oscillateur de haute qualité sera minime sur la largeur de bande de mesure retenue, de sorte qu'on peut la déduire des mesures d'erreur du récepteur. La méthode décrite à l'Appendice VIII peut servir à vérifier la contribution à la gigue aléatoire du générateur de séquences d'essai optique.



**Figure VII.2/O.172 – Exemple de schéma d'horloge et de production de la gigue**

Le schéma de la section relative aux données est présenté à la Figure VII.3 ci-dessous. Pour l'implémentation, on utilise un générateur de séquence classique, couplé à un système à double modulation optique pour exécuter une fonction de retemporisation optique.

Le modulateur de données fonctionne comme un modulateur classique, c'est-à-dire en présence d'une gigue qui est fonction de la séquence d'essai. Le second modulateur de production d'impulsions exécute une opération de retemporisation optique. Le produit est une fonction AND optique des impulsions produites (impulsions d'horloge de largeur réduite) et les données NRZ. Le produit des données qui en résulte a les propriétés réduites de la gigue de l'impulsion de l'horloge de retemporisation; il s'agit maintenant d'une impulsion de données RZ. Les données RZ correspondent à une impulsion étirée dans les données NRZ, libres de gigue, mais dépendantes de la séquence d'essai.



**Figure VII.3/O.172 – Exemple de schéma de production de données optiques**

La Figure VII.4 ci-dessous montre une autre implémentation de l'émetteur de référence. Par exemple, un modulateur optique STM-64 de bonne qualité deviendra effectivement un émetteur de référence à la ligne STM-16, la gigue correspondant à la séquence étant négligeable. Il s'agit là par



ailleurs d'une bonne technique pour implémenter des générateurs de données optiques en vue d'une caractérisation des récepteurs.

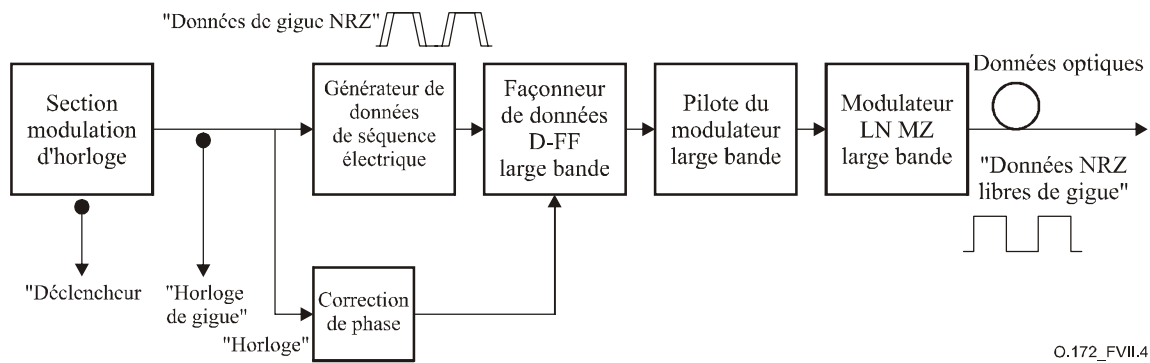


Figure VII.4/O.172 – Schéma d'un autre processus de production de données optiques

### VII.3 Résultats et interprétation

Le système de vérification peut servir à tester diverses largeurs d'impulsion de modulation et diverses fréquences de répétition. L'utilisateur du système a la maîtrise de toute la zone à caractériser pour vérifier la conformité avec le texte de la présente Recommandation. Il est recommandé d'élaborer à chaque point de fréquence de modulation une "carte d'exactitude" en retenant diverses largeurs transitoires et diverses fréquences de répétition. Voir l'exemple donné à la Figure VII.5.

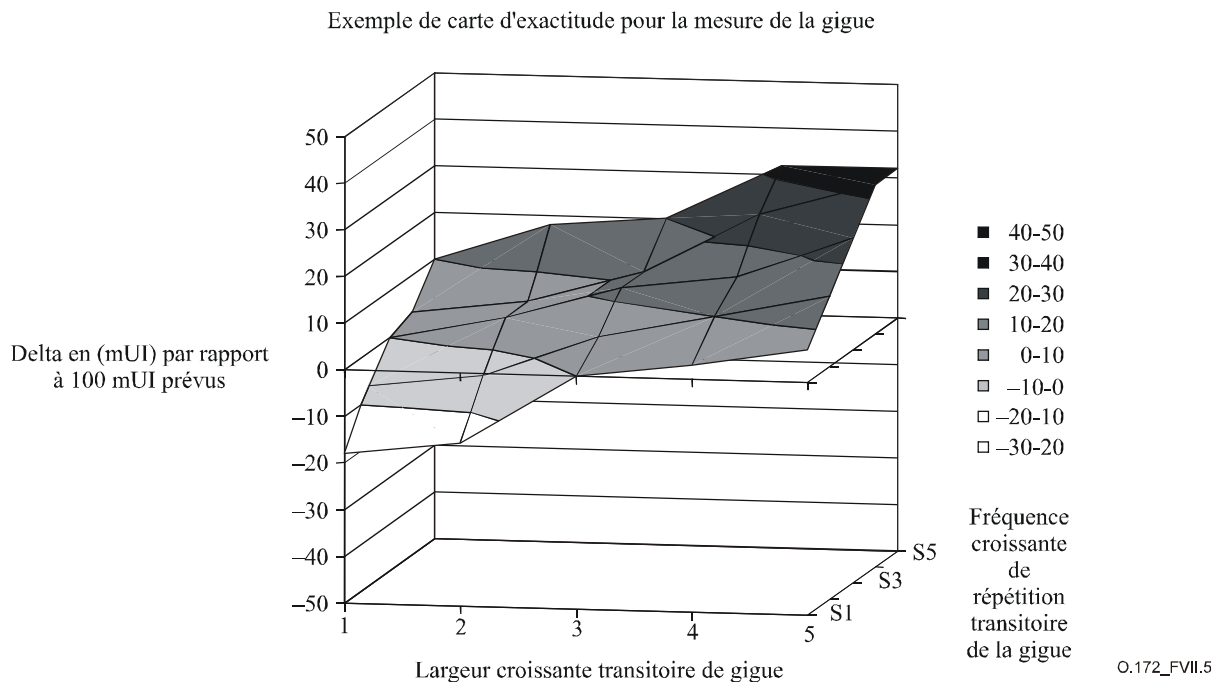


Figure VII.5/O.172 – Exemple de résultat d'essai de cartographie de la mesure de la gigue

La gamme des fréquences de modulation, des largeurs des rafales et des fréquences de répétition dépend de la largeur de bande retenue pour la mesure de la gigue, qui est liée au débit binaire appliqué. Une possible combinaison de diverses fréquences de modulation, largeur de rafale et fréquence de répétition est présentée dans le Tableau VII.1 ci-dessous.

**Tableau VII.1/O.172 – Combinaisons de fréquence de modulation, de largeur de rafale et de fréquence de répétition**

Signal	Fréquence de modulation $f_m$	Largeur minimale des rafales $t_{min}$	Largeurs des rafales $> t_{min}$				
STM-1	1 kHz <sup>a)</sup>	2 ms	–	–	–	–	–
	65 kHz <sup>a)</sup>	31 $\mu$ s	–	–	–	100 $\mu$ s	1 ms
	300 kHz	6,7 $\mu$ s	–	–	–	100 $\mu$ s	1 ms
	1,3 MHz	1,5 $\mu$ s	–	–	10 $\mu$ s	100 $\mu$ s	1 ms
STM-4	10 kHz <sup>a)</sup>	200 $\mu$ s	–	–	–	–	1 ms
	250 kHz <sup>a)</sup>	8 $\mu$ s	–	–	–	100 $\mu$ s	1 ms
	1 MHz	2 $\mu$ s	–	–	10 $\mu$ s	100 $\mu$ s	1 ms
	5 MHz	400 ns	–	–	10 $\mu$ s	100 $\mu$ s	1 ms
STM-16	50 kHz <sup>a)</sup>	40 $\mu$ s	–	–	–	100 $\mu$ s	1 ms
	1 MHz <sup>a)</sup>	2 $\mu$ s	–	–	10 $\mu$ s	100 $\mu$ s	1 ms
	5 MHz	400 ns	–	–	10 $\mu$ s	100 $\mu$ s	1 ms
	20 MHz	100 ns	–	1 $\mu$ s	10 $\mu$ s	100 $\mu$ s	1 ms
STM-64	200 kHz <sup>a)</sup>	10 $\mu$ s	–	–	–	100 $\mu$ s	1 ms
	3 MHz <sup>a)</sup>	667 ns	–	–	10 $\mu$ s	100 $\mu$ s	1 ms
	20 MHz	100 ns	–	1 $\mu$ s	10 $\mu$ s	100 $\mu$ s	1 ms
	80 MHz	25 ns	100 ns	1 $\mu$ s	10 $\mu$ s	100 $\mu$ s	1 ms

<sup>a)</sup> La fréquence de répétition des rafales se situe entre 10 Hz et 10 kHz.

NOTE 1 – Uniquement applicable lorsque le filtre passe-haut  $f_1$  est utilisé pour la mesure de la gigue.

NOTE 2 – La mesure a une période de 60 secondes.

NOTE 3 – La fréquence minimale de répétition des rafales, 10 Hz, est choisie pour une répétabilité des mesures et est basée sur la répétition PRBS de la séquence d'essai.

NOTE 4 – Les largeurs des rafales de 100  $\mu$ s et de 1 ms ne peuvent être utilisées qu'avec des répétitions de rafale inférieures respectivement à 10 kHz et à 1 kHz.

L'erreur de mesure admise est définie au § 9.4, comme étant  $\pm R\%$  de la lecture  $\pm W$ . Pour un point pris comme exemple dans la ligne STM-64 à 10 MHz, R est défini comme étant égale à 20% et W (pour une largeur de bande de mesure correspondant à  $f_3-f_4$ ) comme étant égale à 35 mUI, ce qui signifie qu'à une amplitude nominale de la gigue de 100 mUI, l'erreur maximale admise est de  $\pm 55$  mUI (la réponse nominale des filtres utilisés pour la mesure et l'erreur du système de vérification n'étant pas comprises).

NOTE 1 – L'erreur associée avec la gigue de l'émetteur de référence qui est fonction de la séquence d'essai fera l'objet d'une étude ultérieure.

NOTE 2 – L'Appendice VII est destiné spécifiquement à une utilisation avec des signaux d'essai structurés selon la définition donnée à l'Annexe A. La vérification en application de l'Appendice VIII de la gigue qui est fonction de la séquence d'essai, conformément à l'Appendice VII, est limitée à l'utilisation des séquences d'essai spécifiées à l'Appendice VIII.

NOTE 3 – La section relative à la génération d'une horloge de précision peut être utilisée pour évaluer l'erreur d'un ensemble de mesures de la gigue SDH lors d'un fonctionnement avec des interfaces d'horloge électrique (voir le § 9.4.1).

## Appendice VIII

### Méthode de caractérisation de la gigue intrinsèque à l'émission

#### VIII.1 Description de la procédure de vérification et application

Le présent appendice recommande une méthode et une implémentation pour vérifier et caractériser un signal à l'émission à l'aide d'une fréquence d'essai de la gigue spécifique; cette technique peut être utilisée pour aider à "désincorporer" de l'équipement d'essai de la gigue les composantes d'émission et de réception.

La technique requiert l'utilisation d'un cadre d'essai fixe, du type hiérarchie SDH à répétition; ce cadre est destiné à être utilisé comme un outil de diagnostic potentiel, et non pas pour caractériser les équipements ou dispositifs de réseau soumis aux essais.

Cette technique peut être utilisée pour vérifier la contribution de la gigue, soit aléatoire, soit dépendante de la séquence d'essai, de la source de données pour une gigue de faible amplitude comme définie à l'Appendice VII.

Cette méthode requiert l'utilisation d'un déclencheur du cadre de la séquence d'essai, de haute qualité.

Tenu pour être une source d'erreur potentielle, le décalage de phase à terme entre l'horloge et les données doit être pris en considération dans toute mesure.

#### VIII.2 Méthode

La présente méthode vise à déterminer avec précision la valeur quadratique moyenne (rms) et la valeur crête à crête à partir des données d'émission à l'aide d'une séquence d'essai définie.

##### VIII.2.1 Mesure de la gigue en fonction de la séquence d'essai

- 1) Régler l'émetteur pour produire un signal d'essai SDH selon le cadre défini à l'Appendice VIII.3.
- 2) Utiliser un oscilloscope, avec une largeur de bande pour la mesure équivalant à un filtre Bessel-Thomson du quatrième ordre pour une fréquence d'affaiblissement de 3 dB à 0,75 fois le débit binaire, afin d'extraire les signaux des données et d'horloge. La largeur de bande utilisée pour la mesure doit être conforme aux dispositions de l'Annexe B/G.957 et de l'Annexe A/G.691.

NOTE 1 – L'erreur associée à l'acquisition des données fera l'objet d'une étude ultérieure.

- 3) Régler l'acquisition à une valeur moyenne sur 64 traces au moins pour éliminer le bruit de phase aléatoire. Régler la phase de l'extrémité ascendante de l'horloge pour qu'elle coïncide exactement avec les extrémités du signal SDH. (Ce qui aura pour conséquence de réduire au minimum l'effet de non-linéarité dans la base temporelle de l'oscilloscope.) Mesurer le délai (en UI) entre l'extrémité ascendante de l'horloge et l'extrémité du signal SDH correspondant (à  $\pm 0,5$  UI). Voir la Figure VIII.1. On obtient ainsi une séquence de valeurs  $x_i$  pour la phase, fonction de la séquence d'essai.
- 4) En l'absence d'extrémité de signal SDH correspondante pour une valeur  $i$  particulière, supposer que  $x_i = 0$ . Mesurer  $x_i$  pour couvrir une période de la trame SDH, c'est-à-dire la taille de l'ensemble des données,  $[x_1.. x_N]$  étant  $N = 125 \times 10^{-6} \times f_0$ , où  $f_0$  est le débit binaire correspondant. Ensuite, générer mathématiquement une nouvelle séquence en utilisant les formules suivantes:

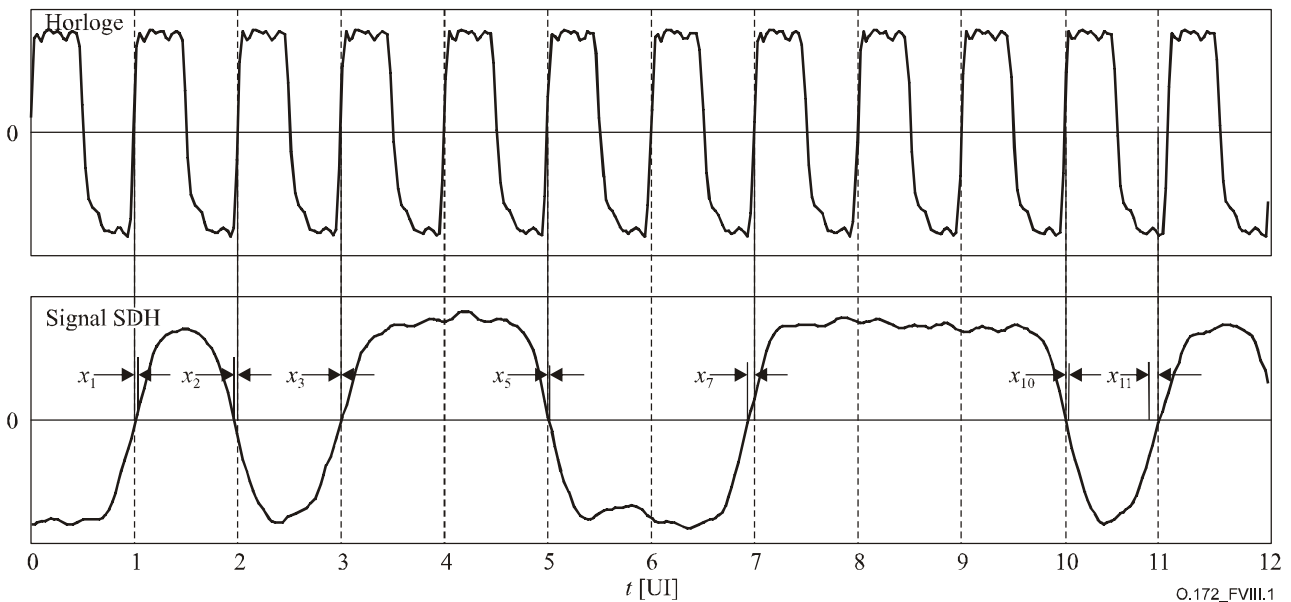
$$x'_i = \frac{\sum_{n=1}^{24} x_{i-n}}{\sum_{n=1}^{24} p_{i-n}}$$

où  $p_i$  désigne la densité de la séquence d'essai. Etablir  $p_i = 1$  lorsqu'existe une extrémité SDH, et  $p_i = 0$  lorsque n'existe aucune donnée de transition. Voir la Figure VIII.2.

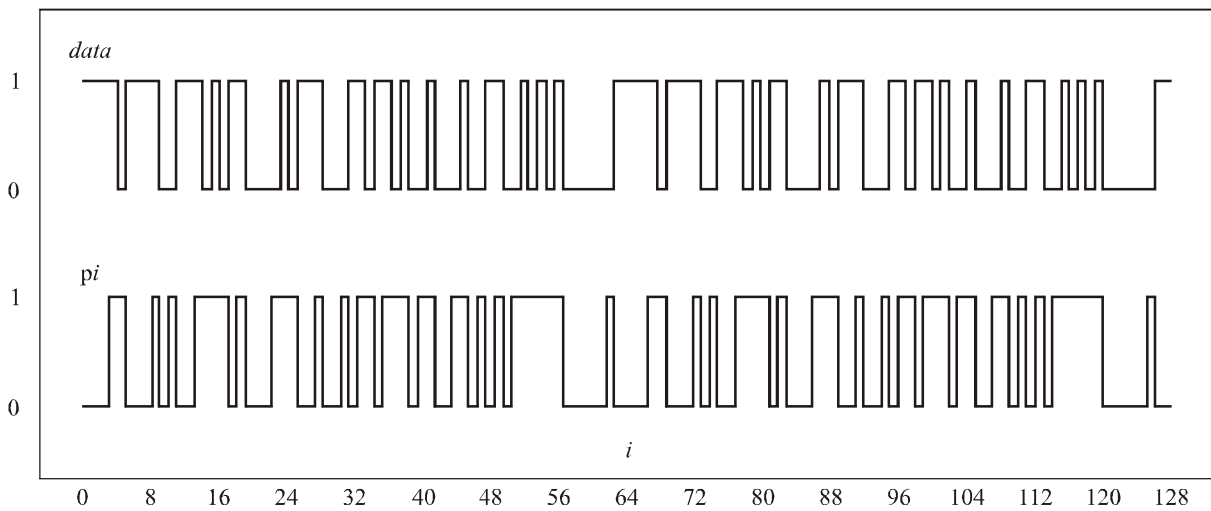
Remplacer dans la série  $x_i$  les valeurs  $x'_i$  lorsqu'il n'existe aucune valeur d'extrémité SDH mesurée.

NOTE 2 – L'erreur associée à l'algorithme d'insertion de la phase fera l'objet d'une étude ultérieure.

- 5) Filtrer la séquence  $x_i$  mathématiquement à l'aide des filtres passe-haut et passe-bas appropriés pour former la séquence des valeurs  $y_i$  de la gigue introduite par la séquence d'essai.
- 6) Utiliser les méthodes des histogrammes pour déterminer la fonction PDF<sub>y</sub> de distribution de la probabilité de la séquence  $y_i$ .
- 7) A partir de PDF<sub>y</sub>, calculer la rms de la séquence  $y_i$ . Cette valeur  $\sigma_{PD}$  est la rms de la gigue induite par la séquence d'essai.

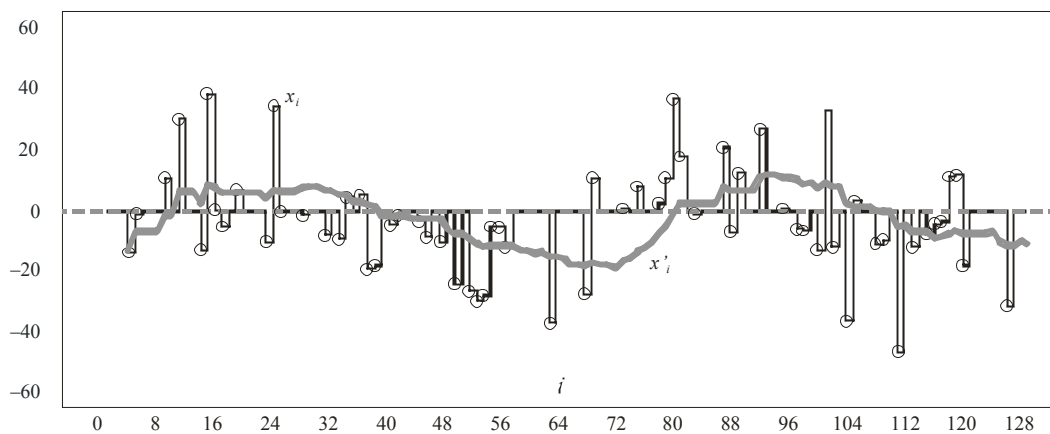


**Figure VIII.1/O.172 – Mesure de la séquence de phase  $x_i$  induite par la séquence d'essai**



O.172\_FVIII.2

**Figure VIII.2/O.172 – Distribution des données et densité de transition  $p_i$**



O.172\_FVIII.3

**Figure VIII.3/O.172 – Valeurs de phase  $x_i$  et  $x'_i$  non filtrées**

### VIII.2.2 Mesure de la gigue d'horloge aléatoire

- 1) Régler l'émetteur pour produire une séquence de données 1010... (éliminant ainsi la gigue induite par la séquence d'essai).
- 2) Appliquer le signal à un analyseur de spectre, dans le cas d'un signal optique, utiliser un convertisseur O/E à grande largeur de bande. A partir du bruit SSB d'un côté de la composante à un demi-baud, déterminer la densité spectrale de puissance  $PSD_{RP}$  du bruit de phase aléatoire. (En convertissant le bruit SSB à  $UI^2/Hz$ , ne pas oublier qu'un cycle de la composante à un demi-baud correspond à 2 UI.)
- 3) Appliquer mathématiquement le filtrage passe-haut et passe-bas approprié à la  $PSD_{RP}$  pour obtenir la densité spectrale de puissance  $PSD_{RJ}$  du bruit de la gigue aléatoire.
- 4) Intégrer la  $PSD_{RJ}$  sur la totalité de  $f$  et prendre la racine carrée pour obtenir la rms  $\sigma_R$  du bruit de la gigue aléatoire.

### VIII.2.3 Estimation de la gigue totale au moyen de la PDF

- 1) La rms de la gigue totale est  $\sigma_T = [\sigma_{PD}^2 + \sigma_R^2]^{0,5}$ .
- 2) En supposant que le bruit de la gigue aléatoire est gaussien, utiliser  $\sigma_R$  pour obtenir la fonction de densité de probabilité  $PDF_R$  du bruit de la gigue aléatoire.
- 3) Convoluer la  $PDF_y$  en fonction de la séquence d'essai avec la  $PDF_R$  aléatoire pour obtenir la fonction de distribution de la probabilité  $PDF_T$  de la gigue totale.
- 4) Calculer la gigue crête à crête moyenne à partir de la  $PDF_T$ , de la largeur de bande de la gigue et de l'intervalle des mesures. Voir l'Appendice VIII.4 pour ce calcul.

### VIII.3 Séquence d'essai de diagnostic

- 1) Les Figures VIII.4 et VIII.5 ci-dessous illustrent les séquences d'essai SDH de diagnostic, susceptibles d'être utilisées aux lignes STM-64 et STM-16.
- 2) La séquence pour la ligne STM-256 fera l'objet d'une étude ultérieure.
- 3) Les séquences d'essai de diagnostic qui simulent les effets sur longue durée des séquences PRBS feront l'objet d'une étude ultérieure.

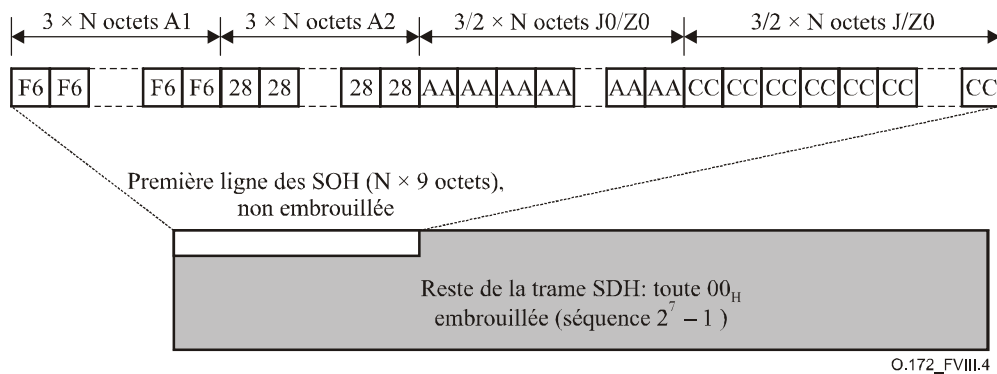


Figure VIII.4/O.172 – Séquence d'essai 1

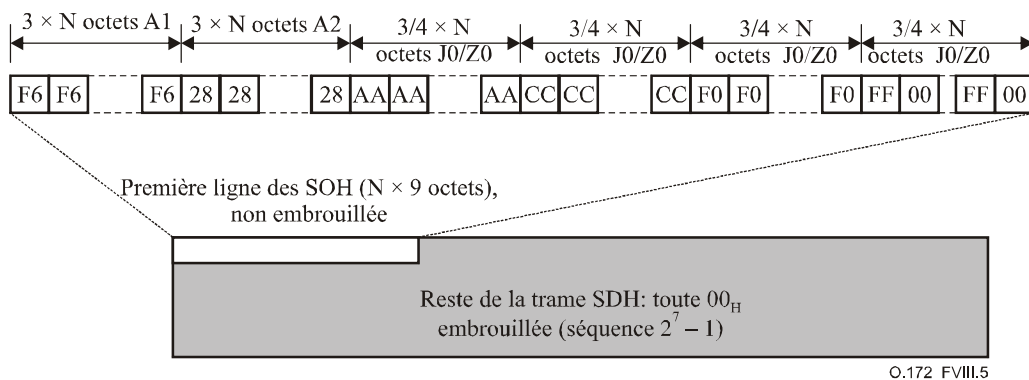


Figure VIII.5/O.172 – Séquence d'essai 2

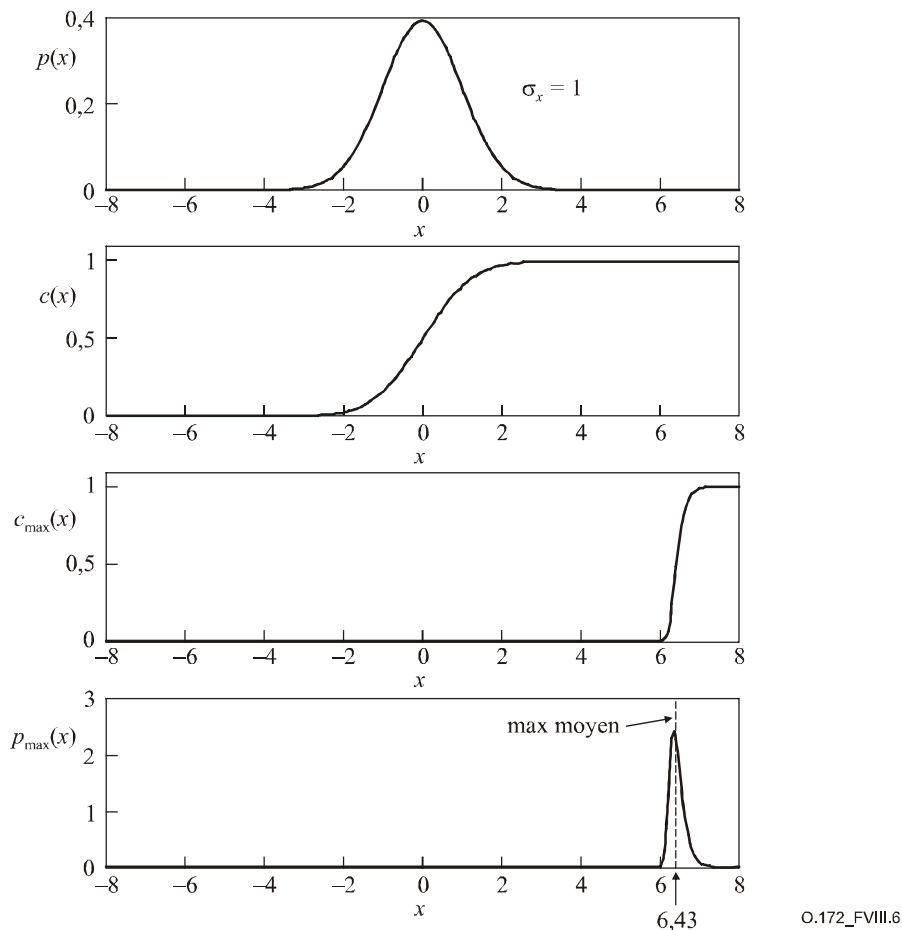
### VIII.4 Calcul de la valeur crête à crête à partir de la fonction de la distribution de la probabilité (PDF)

A partir de la fonction de la distribution de la probabilité  $p(x)$  d'une fonction temporelle  $x$ , on veut trouver la valeur crête à crête prévue de  $x$ , sachant que  $x$  est quasiment nul en dehors d'une largeur de bande BW. L'intervalle de mesure est  $T$ .

Une fonction de temps  $x$  qui est quasiment nulle en dehors d'une largeur de bande BW a environ  $N = 2 \cdot \text{BW} \cdot T$  valeurs indépendantes dans l'intervalle  $T$ . La probabilité de ne pas dépasser une certaine valeur de  $x$  pendant l'intervalle  $T$  est alors la probabilité de  $N$  valeurs indépendantes, toutes ne dépassant pas cette valeur  $x$ . Mais la probabilité de ne pas dépasser  $x$  dans un essai est la fonction de distribution cumulée  $c(x)$ , où  $c(x)$  est l'intégral de  $p(x)$ . La probabilité de ne pas dépasser  $x$  dans  $N$  essais indépendants est alors  $c_{\max}(x) = c(x)^N$ . S'agissant de la probabilité que la valeur maximale n'excédera pas  $x$ ,  $c_{\max}(x)$  est la fonction de distribution cumulée de la valeur maximale. La fonction de distribution de la probabilité  $p_{\max}(x)$  du maximum est alors le dérivé de  $c_{\max}(x)$ , la valeur moyenne (ou prévue) du maximum étant l'intégral de  $x \cdot p_{\max}(x)$  sur la totalité de  $x$ .

A titre d'exemple, la Figure VIII.6 montre ces fonctions dans le cas d'un  $p(x)$  gaussien avec une rms à l'unité. Si la largeur de bande de  $x$  est  $\text{BW} = 80$  MHz et l'intervalle de mesure est  $T = 60$  secondes, alors  $N = 9.6 \cdot 10^9$ . Porter  $c(x)$  à cette puissance produit un accroissement de  $c_{\max}(x)$  au-delà de 6,  $p_{\max}(x)$  étant le dérivé de  $c_{\max}(x)$ . A partir de  $p_{\max}(x)$ , on calcule que le maximum prévu est égal à 6,43.

De même, on peut calculer le minimum de  $x$ . Par symétrie, le minimum prévu sera de  $-6,43$ , et la valeur crête à crête prévue de 12,86.



**Figure VIII.6/O.172 – Exemple gaussien du minimum prévu de  $x$  calculé à partir de la PDF de  $x$**







## 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	Gestion des télécommunications y compris le RGT et maintenance des réseaux
Série N	Maintenance: circuits internationaux de transmission radiophonique et télévisuelle
<b>Série O</b>	<b>Spécifications des appareils de mesure</b>
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, communication entre systèmes ouverts et sécurité
Série Y	Infrastructure mondiale de l'information, protocole Internet et réseaux de prochaine génération
Série Z	Langages et aspects généraux logiciels des systèmes de télécommunication