

**Remplacée par une version plus récente**



UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

**UIT-T**

SECTEUR DE LA NORMALISATION  
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS  
DE L'UIT

**G.823**

(03/93)

**RÉSEAUX NUMÉRIQUES**

---

**RÉGULATION DE LA GIGUE ET  
DU DÉRAPAGE DANS LES RÉSEAUX  
NUMÉRIQUES FONDÉS SUR LA  
HIÉRARCHIE À 2048 kbit/s**

**Recommandation UIT-T G.823**

Remplacée par une version plus récente

(Antérieurement «Recommandation du CCITT»)

---

# Remplacée par une version plus récente

## AVANT-PROPOS

L'UIT-T (Secteur de la normalisation des télécommunications) est un organe permanent de l'Union internationale des télécommunications (UIT). Il est chargé de l'étude des questions techniques, d'exploitation et de tarification, et émet à ce sujet des Recommandations en vue de la normalisation des télécommunications à l'échelle mondiale.

La Conférence mondiale de normalisation des télécommunications (CMNT), qui se réunit tous les quatre ans, détermine les thèmes que les Commissions d'études de l'UIT-T doivent examiner et à propos desquels elles doivent émettre des Recommandations.

La Recommandation révisée UIT-T G.823, élaborée par la Commission d'études XVIII (1988-1993) de l'UIT-T, a été approuvée par la CMNT (Helsinki, 1-12 mars 1993).

---

## NOTES

1 Suite au processus de réforme entrepris au sein de l'Union internationale des télécommunications (UIT), le CCITT n'existe plus depuis le 28 février 1993. Il est remplacé par le Secteur de la normalisation des télécommunications de l'UIT (UIT-T) créé le 1<sup>er</sup> mars 1993. De même, le CCIR et l'IFRB ont été remplacés par le Secteur des radiocommunications.

Afin de ne pas retarder la publication de la présente Recommandation, aucun changement n'a été apporté aux mentions contenant les sigles CCITT, CCIR et IFRB ou aux entités qui leur sont associées, comme «Assemblée plénière», «Secrétariat», etc. Les futures éditions de la présente Recommandation adopteront la terminologie appropriée reflétant la nouvelle structure de l'UIT.

2 Dans la présente Recommandation, le terme «Administration» désigne indifféremment une administration de télécommunication ou une exploitation reconnue.

© UIT 1993

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

# Remplacée par une version plus récente

## TABLE DES MATIÈRES

	<i>Page</i>
1 Champ d'application .....	1
2 Limites dans le réseau pour la valeur maximale de la gigue et du dérapage de sortie à une interface hiérarchique quelconque .....	1
2.1 Limites de la gigue dans le réseau .....	1
2.2 Limites du dérapage dans le réseau .....	3
3 Limites de gigue appropriées aux équipements numériques .....	3
3.1 Principe de spécification de base.....	3
3.2 Sections numériques.....	5
3.3 Muldex numériques.....	7
4 Principes à appliquer pour mesurer la gigue .....	7
4.1 Mesures utilisant un signal de trafic non défini .....	7
4.2 Mesures utilisant une séquence d'essai spécifique.....	7
4.3 Interaction du signal d'essai et des dispositifs de traitement du signal intégrés aux systèmes de transmission.....	8
5 Accumulation de la gigue dans les réseaux numériques.....	8
Annexe A – Utilisation d'une séquence binaire pseudo-aléatoire pour la mesure de la gigue sur des systèmes de ligne numériques, des systèmes de radiocommunication et des systèmes à fibres optiques .....	9
A.1 Relation entre une mesure aléatoire fondée sur le trafic et une mesure fondée sur une PRBS .....	9
A.2 Contenu spectral de la séquence PRBS .....	9
Annexe B – Accumulation de la gigue dans les réseaux numériques et principes correspondants.....	10
B.1 Accumulation de la gigue dans les réseaux numériques.....	10
B.2 Principes relatifs à l'application pratique de relations d'accumulation de la gigue dans un réseau numérique.....	13
Annexe C – Modèle de référence de dérapage pour nœuds du réseau.....	13
Références .....	15



# Remplacée par une version plus récente

Recommandation G.823

## RÉGULATION DE LA GIGUE ET DU DÉRAPAGE DANS LES RÉSEAUX NUMÉRIQUES FONDÉS SUR LA HIÉRARCHIE À 2048 kbit/s

(Melbourne, 1988; révisée à Helsinki, 1993)

### 1 Champ d'application

Dans un réseau de transmission, la gigue et le dérapage s'accumulent au fur et à mesure de leur production et selon les caractéristiques de transfert de chaque équipement interconnecté. Ces équipements peuvent être différents types de multiplexeurs/démultiplexeurs et de systèmes de ligne.

Un taux excessif de gigue et de dérapage peut avoir des effets défavorables sur les signaux aussi bien numériques (production d'erreurs sur les bits, glissements non commandés) qu'analogiques (modulation parasite de la phase du signal transmis). Il est donc indispensable de fixer des limites relatives à la présence de la gigue et du dérapage aux interfaces avec le réseau, afin de garantir une qualité appropriée des signaux transmis.

Le champ d'application de la présente Recommandation consiste à définir les paramètres et les valeurs correspondantes qui permettront de limiter de manière satisfaisante le taux de gigue et de dérapage présent aux interfaces d'un réseau en hiérarchie numérique plésiochrone (PDH) (*plesiochronous digital hierarchy*).

La Recommandation est applicable aux réseaux qui adoptent la hiérarchie numérique fondée sur le premier niveau de débit binaire: 2048 kbit/s. Les caractéristiques électriques des interfaces réseau correspondantes sont décrites dans la Recommandation G.703.

La régulation de la gigue est fondée sur les principes suivants:

- nécessité de recommander une valeur limite maximale, qui ne devra être dépassée dans aucune interface hiérarchique du réseau;
- nécessité de recommander un cadre homogène pour la spécification d'équipements numériques individuels;
- nécessité de fournir aux organisations des informations et des directives suffisantes pour mesurer et étudier l'accumulation de la gigue dans une configuration de réseau quelconque.

### 2 Limites dans le réseau pour la valeur maximale de la gigue et du dérapage de sortie à une interface hiérarchique quelconque

#### 2.1 Limites de la gigue dans le réseau

Les limites indiquées dans le Tableau 1 représentent les valeurs maximales admissibles de la gigue aux interfaces hiérarchiques dans un réseau numérique. Ces limites doivent être observées quelles que soient les conditions d'exploitation et quel que soit le nombre d'équipements précédant l'interface. Ces limites dans le réseau sont compatibles avec la tolérance minimale de gigue que les entrées des équipements doivent admettre.

Sur des réseaux en exploitation, il conviendra généralement, pour compenser l'accumulation progressive et le transfert vers l'avant de la gigue, dans et à travers les éléments du réseau en cascade (tels que les régénérateurs, etc.), de limiter la gigue à un niveau approprié, *inférieur* à la limite maximale admissible. De plus, sur les trajets de transmission de grande longueur, comportant un grand nombre de sections en cascade, des équipements assurant une réduction de la gigue seront éventuellement nécessaires pour éviter le dépassement de la limite dans le réseau et la tolérance de gigue des équipements individuels. Si l'amplitude de la gigue atteint le niveau maximal admissible à l'interface entre deux pays, il appartient aux Administrations nationales de prendre les mesures appropriées pour remédier à cette situation qui, vraisemblablement, ne se produira que très rarement.

Les dispositifs de mesure de la gigue à la sortie d'une interface numérique sont représentés à la Figure 1. Les limites de gigue spécifiques et les valeurs des fréquences de coupure du filtre pour les différents niveaux hiérarchiques sont données dans le Tableau 1. La réponse en fréquence des filtres utilisés avec l'appareil de mesure doit être à coupure progressive de 20 dB/décade. Un appareil d'essai approprié est décrit dans la Recommandation O.171.

# Remplacée par une version plus récente

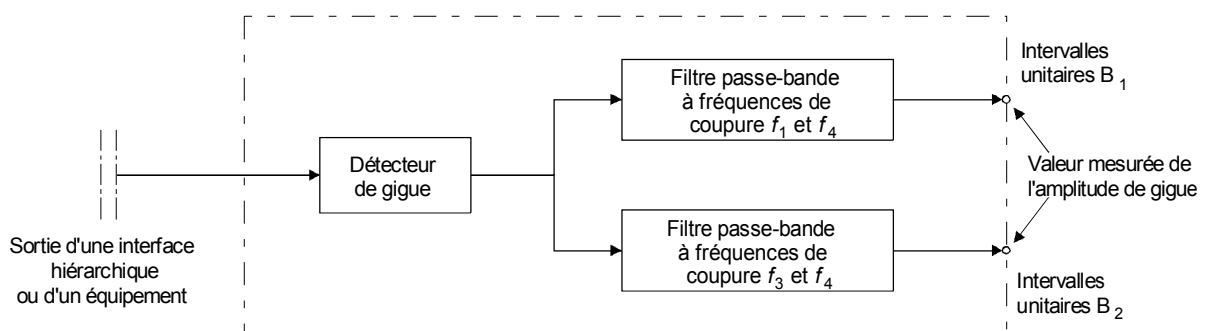
TABLEAU 1/G.823

## Gigue maximale admissible à une interface hiérarchique

Valeurs des paramètres →  Débit binaire (kbit/s) ↓	Limite du réseau		Largeur de bande du filtre de mesure		
	Intervalle unitaire $B_1$ de crête à crête	Intervalle unitaire $B_2$ de crête à crête	Filtre passe-bande ayant une fréquence de coupure inférieure $f_1$ ou $f_3$ et une fréquence de coupure supérieure $f_4$		
			$f_1$	$f_3$	$f_4$
64 (Note 1)	0,25	0,05	20 Hz	3 kHz	20 kHz
2 048	1,5	0,2	20 Hz	18 kHz (700 Hz)	100 kHz
8 448	1,5	0,2	20 Hz	3 kHz (80 kHz)	400 kHz
34 368	1,5	0,15	100 Hz	10 kHz	800 kHz
139 264	1,5	0,075	200 Hz	10 kHz	3500 kHz

NOTES

- 1 Pour l'interface codirectionnelle seulement.
- 2 Les valeurs de fréquence indiquées entre parenthèses ne s'appliquent qu'à certaines interfaces nationales.
- 3 UI Intervalle unitaire (*unit interval*):  
 pour 64 kbit/s      1 UI = 15,6  $\mu$ s  
 pour 2048 kbit/s    1 UI = 488 ns  
 pour 8448 kbit/s    1 UI = 118 ns  
 pour 34 368 kbit/s  1 UI = 29,1 ns  
 pour 139 264 kbit/s 1 UI = 7,18 ns



T1302230-93/d01

FIGURE 1/G.823

Dispositifs de mesure de la gigue de sortie d'une interface hiérarchique ou d'un équipement

# Remplacée par une version plus récente

On suppose que, dans un réseau synchronisé, l'équipement numérique installé aux nœuds peut faire face aux variations de phase autorisées des signaux entrants ainsi qu'à la gigue et au dérapage provenant des installations de transmission: autrement dit, dans des conditions de synchronisation normales, il n'y aura pas de glissement. Il faut cependant reconnaître que, du fait de certaines dégradations de la qualité de fonctionnement, de certaines conditions de dérangement, d'opérations de maintenance ou d'autres événements, l'erreur sur la durée (TIE) (*time interval error*) relative entre le signal d'entrée et le signal de rythme interne de l'équipement de terminaison pourra dépasser la tolérance de dérapage et de gigue de l'équipement, ce qui se traduira par un glissement commandé.

Aux nœuds auxquels aboutissent des liaisons interconnectant des réseaux synchronisés de façon indépendante (ou dans le cas de réseaux nationaux fonctionnant selon le mode plésiochrone) l'erreur sur la durée relative entre le signal d'entrée et le signal de rythme interne de l'équipement de terminaison risque de dépasser la tolérance de dérapage et de gigue de l'équipement, auquel cas un glissement se produira. La valeur maximale admissible du taux moyen à long terme du glissement commandé résultant de ce mécanisme est donnée par la Recommandation G.811, soit un seul glissement en 70 jours.

Pour les équipements qui ne sont pas commandés par un système de synchronisation des réseaux, mais par une horloge autonome (par exemple un pilote à quartz), des valeurs de gigue à la sortie plus rigoureuses peuvent être définies dans les spécifications pertinentes relatives aux équipements (par exemple pour le muldex dans la Recommandation G.735 et au sujet de l'accès à débit primaire dans la Recommandation I.431).

## 2.2 Limites du dérapage dans le réseau

Dans le réseau, une limite maximale du dérapage à une interface hiérarchique quelconque n'a pas été définie. Les valeurs réelles du dérapage, dépendant beaucoup des caractéristiques fondamentales de propagation des supports de transmission et du vieillissement des circuits d'horloge (voir 3/G.811), peuvent être prévues. Des études ont montré que, sous réserve que les entrées puissent admettre un dérapage conforme aux caractéristiques de tolérance d'entrée du 3.1.1, des glissements résultant d'un dépassement de la tolérance d'entrée seront rarement observés. Pour les interfaces avec les nœuds du réseau, on appliquera les limites suivantes.

Sur une période de  $S$  secondes, l'erreur maximale sur la durée (MTIE) (*maximun time interval error*) ne doit pas dépasser les valeurs suivantes (voir Recommandation G.811):

- 1)  $S < 10^4$ , cette région nécessite un complément d'étude;
- 2)  $(10^{-2} S + 10\ 000)$  ns, pour les valeurs de  $S$  supérieures à  $10^4$ .

### NOTES

- 1 La spécification générale qui en découle est représentée à la Figure 2.
- 2 La MTIE totale de 10  $\mu$ s, superposée au rythme moyen comme indiqué ci-dessus, ne peut survenir qu'à la sortie du dernier nœud d'une chaîne de nœuds. Il convient de s'en assurer par l'application de règles de planification appropriées.

## 3 Limites de gigue appropriées aux équipements numériques

### 3.1 Principe de spécification de base

Il faut spécifier les caractéristiques de la gigue des différents équipements numériques de trois manières, comme suit.

#### 3.1.1 Tolérance de gigue et de dérapage des accès d'entrée numériques

Pour qu'un équipement puisse être connecté à une interface hiérarchique recommandée quelconque dans un réseau, les entrées de tous les équipements doivent pouvoir admettre des niveaux de gigue pouvant atteindre dans le réseau la limite maximale définie dans le Tableau 1.

Pour faciliter les essais, la tolérance requise est définie en fonction de l'amplitude et de la fréquence de la gigue sinusoïdale qui, en cas de modulation d'une séquence d'essai, ne devrait pas provoquer de dégradation importante du fonctionnement de l'équipement. Il importe de bien saisir que la condition de l'essai n'est pas, en soi, censée être représentative du type de gigue rencontré en pratique dans un réseau. Néanmoins, l'essai garantit que le facteur «Q» lié au rétablissement du signal de rythme des circuits d'entrée des équipements n'est pas excessif et que, le cas échéant, des mémoires tampons ont été prévues en nombre suffisant.

Toutes les entrées numériques des équipements devraient donc pouvoir tolérer un signal numérique ayant des caractéristiques électriques conformes aux spécifications de la Recommandation G.703, mais modulé par un dérapage et une gigue sinusoïdaux, présentant le rapport amplitude-fréquence défini à la Figure 3. Le Tableau 2 indique les limites appropriées pour les différents niveaux hiérarchiques.

# Remplacée par une version plus récente

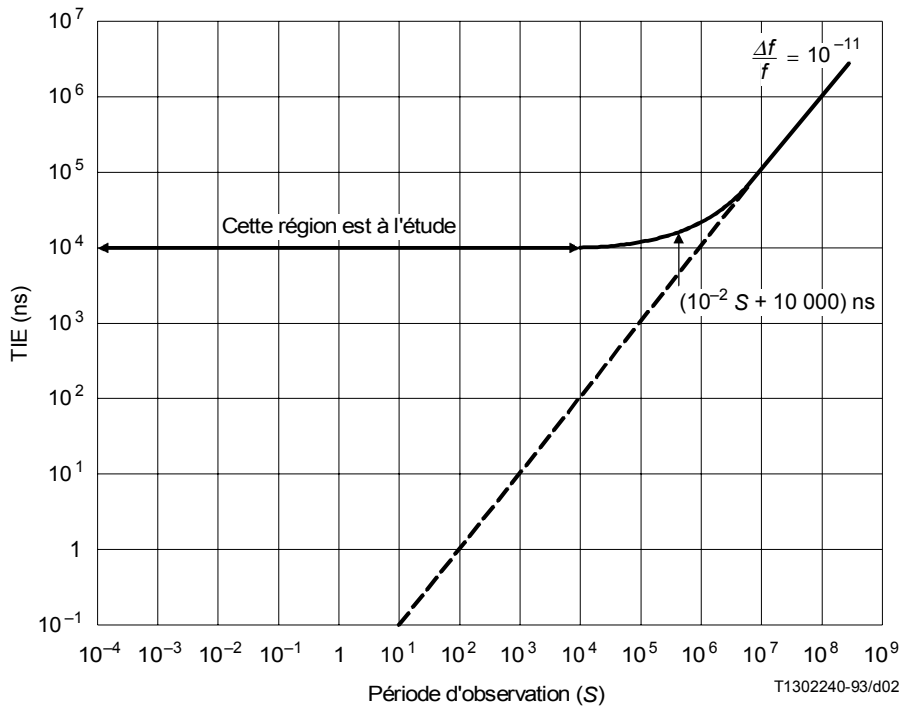


FIGURE 2/G.823

**Erreur relative maximale sur la durée (MTIE) admissible en fonction de la période d'observation  $S$  pour la sortie d'un noeud du réseau**

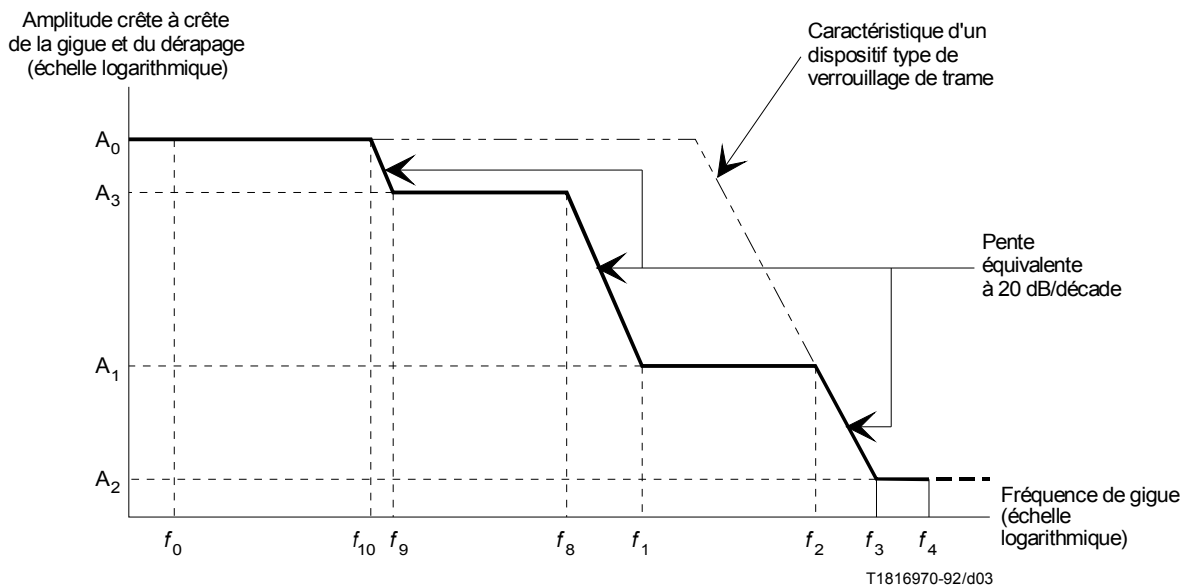


FIGURE 3/G.823

**Limite inférieure de la valeur maximale admissible pour la gigue et le dérapage entrant**



# Remplacée par une version plus récente

La composante de dérapage/gigue est superposée à un signal de rythme qui est idéalement synchrone avec une horloge de référence et en pratique raisonnablement stable. Les instruments préconisés dans la Recommandation O.171 se prêtent à la mesure des fréquences de dérapage/gigue au-dessus de 2 Hz.

En principe, ces conditions doivent être remplies quel que soit le contenu d'information du signal numérique. Aux fins des essais, le contenu binaire équivalent du signal avec modulation par la gigue doit consister en une séquence de bits pseudo-aléatoire (voir le Tableau 2).

Pour l'établissement de ces limites, les effets du dérapage sont considérés comme prédominants aux fréquences inférieures à  $f_1$  et de nombreux équipements de transmission, tels que les systèmes de ligne numériques et les muldex asynchrones utilisant des techniques de justification, sont effectivement transparents à ces changements de phase aux très basses fréquences. Malgré cela, il n'est pas nécessaire d'adapter cette phase à l'entrée de certains équipements (par exemple commutateurs numériques et muldex synchrones). Au-dessous de  $f_1$ , la caractéristique ne peut faire l'objet d'une simple évaluation pratique, mais il faut la prendre en considération au stade de la conception de l'équipement.

Contrairement à la partie du gabarit comprise entre les fréquences  $f_1$  et  $f_4$  qui reflète l'amplitude maximale admissible de la gigue dans un réseau numérique, la partie du gabarit se trouvant au-dessous de la fréquence  $f_1$  ne vise pas à représenter le dérapage maximal admissible qui pourrait se produire dans la pratique. Au-dessous de la fréquence  $f_1$ , le gabarit est établi de manière que l'application de ce niveau de mémoire tampon à l'entrée d'un équipement permette, si besoin est, de tolérer le dérapage qui se produit dans une grande partie des connexions réelles.

Une entrée qui synchronise un nœud et une autre qui ne synchronise pas le nœud peuvent obtenir leurs rythmes respectifs de la même horloge de référence, mais sur des trajets différents. Elles peuvent donc, dans une situation extrême, présenter un écart de phase opposé. L'écart de phase relatif maximal prévu est de 18  $\mu$ s et il y a lieu d'en tenir compte au niveau des équipements.

Un changement de sens à court terme de l'erreur sur la durée relative entre le signal d'entrée et le signal de rythme interne de l'équipement de terminaison se produisant peu de temps après un glissement commandé ne devrait pas provoquer un autre glissement. Pour éviter un tel glissement, l'équipement devrait être conçu avec une hystérésis appropriée, qui devrait être d'au moins 18  $\mu$ s.

## 3.1.2 Gigue de sortie maximale en l'absence de gigue à l'entrée

Il faut limiter le niveau de la gigue produite dans les différents équipements. Un certain nombre de Recommandations relatives à des systèmes spécifiques définissent les niveaux maximaux de la gigue pouvant se produire en l'absence de gigue à l'entrée. Les limites appliquées dans la réalité dépendent du type d'équipement. Il convient de les respecter quel que soit le contenu informationnel du signal numérique. Dans tous les cas, elles ne dépassent jamais la limite maximale autorisée pour le réseau. Le dispositif de mesure de la gigue de sortie est représenté à la Figure 1.

## 3.1.3 Caractéristiques de transfert de la gigue et du dérapage

Les caractéristiques de transfert de la gigue définissent le rapport de l'amplitude de la gigue de sortie à l'amplitude de la gigue d'entrée en fonction de la fréquence de la gigue pour un débit binaire donné. Lorsqu'une gigue est présente à l'accès d'entrée numérique d'un équipement numérique, une partie en est très souvent transmise à l'accès de sortie numérique correspondant. De nombreux types d'équipements numériques atténuent les composantes de gigue de fréquence plus élevée présentes à l'entrée. Les Recommandations traitant d'un équipement particulier définiront en dernière analyse les valeurs limites de ses caractéristiques de transfert de la gigue. Pour assurer la régulation de la gigue dans le cas d'équipements numériques homogènes en cascade, il est important de limiter la valeur de l'accroissement de la gigue. Pour un équipement numérique particulier, on peut mesurer le transfert de la gigue en utilisant un signal numérique modulé par une gigue sinusoïdale.

La Figure 4 donne la forme générale de la caractéristique de transfert de la gigue type. On trouve dans les Recommandations pertinentes les valeurs appropriées aux niveaux  $x$  et  $-y$  dB et les fréquences  $f_1, f_5, f_6$  et  $f_7$ .

Etant donné que la largeur de bande des circuits de lissage de phase dans un équipement numérique asynchrone est généralement supérieure à 10 Hz, le dérapage sur le signal d'entrée peut apparaître pratiquement sans atténuation à la sortie. Toutefois, dans certains équipements numériques particuliers (par exemple des horloges nodales), le dérapage doit être suffisamment atténué de l'entrée à la sortie. Les Recommandations qui traitent des équipements synchrones définiront en dernière analyse les valeurs limites pour des caractéristiques particulières de transfert de dérapage.

## 3.2 Sections numériques

Pour s'assurer que la valeur limite maximale du réseau (voir l'article 2) n'est pas dépassée dans un réseau numérique, il faut contrôler la gigue due aux systèmes de transmission.

Les limites de gigue pour les sections numériques sont données dans la Recommandation G.921.

# Remplacée par une version plus récente

TABLEAU 2/G.823

## Valeurs des paramètres de tolérance applicables à la gigue et au dérapage entrant

Débit binaire (kbit/s)	Intervalle unitaire de crête à crête				Fréquence								Signal d'essai pseudo-aléatoire
	A <sub>0</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	f <sub>0</sub>	f <sub>10</sub>	f <sub>9</sub>	f <sub>8</sub>	f <sub>1</sub>	f <sub>2</sub>	f <sub>3</sub>	f <sub>4</sub>	
64 (Note 1)	1,15 (18 μs)	a)	0,25	0,05	1,2 × 10 <sup>-5</sup> Hz	a)	a)	a)	20 Hz	600 Hz	3 kHz	20 kHz	2 <sup>11</sup> - 1
2 048	36,9 (18 μs)	18 (Note 7)	1,5	0,2	1,2 × 10 <sup>-5</sup> Hz	4,88 × 10 <sup>-3</sup> Hz (Note 7)	0,01 Hz (Note 7)	1,667 Hz (Note 7)	20 Hz	2,4 kHz (93 Hz)	18 kHz (700 Hz)	100 kHz	2 <sup>15</sup> - 1 (Rec. O.151)
8 448	152 (18 μs)	a)	1,5	0,2	1,2 × 10 <sup>-5</sup> Hz	a)	a)	a)	20 Hz	400 Hz (10,7 kHz)	3 kHz (80 kHz)	400 kHz	2 <sup>15</sup> - 1 (Rec. O.151)
34 368	618,6 (18 μs)	a)	1,5	0,15	a)	a)	a)	a)	100 Hz	1 kHz	10 kHz	800 kHz	2 <sup>23</sup> - 1 (Rec. O.151)
139 264	2506,6 (18 μs)	a)	1,5	0,075	a)	a)	a)	a)	200 Hz	500 Hz	10 kHz	3500 kHz	2 <sup>23</sup> - 1 (Rec. O.151)

a) Valeurs à l'étude.

### NOTES

- 1 Pour l'interface codirectionnelle seulement.
- 2 Pour les interfaces des réseaux nationaux, on peut utiliser les valeurs de fréquences (f<sub>2</sub> et f<sub>3</sub>) indiquées entre parenthèses.
- 3 UI Intervalle unitaire:  
 pour 64 kbit/s      1 UI = 15,6 μs  
 pour 2048 kbit/s    1 UI = 488 ns  
 pour 8448 kbit/s    1 UI = 118 ns  
 pour 34 368 kbit/s   1 UI = 29,1 ns  
 pour 139 264 kbit/s 1 UI = 7,18 ns
- 4 La valeur de A<sub>0</sub> (18 μs) représente une excursion de phase relative entre le signal entrant et le signal local de rythme interne provenant de l'horloge de référence.
- 5 L'excursion de phase absolue nécessite un complément d'étude.
- 6 Un exemple de configuration de référence expliquant la valeur A<sub>0</sub> est donné dans l'Annexe C.
- 7 Ces valeurs concernent des interfaces à 2048 kbit/s qui ne sont pas utilisées pour acheminer des signaux de synchronisation. Les caractéristiques des signaux de synchronisation sont à l'étude.

# Remplacée par une version plus récente

## 3.3 Muldex numériques

Les limites de la gigue applicables aux multiplexeurs et démultiplexeurs numériques sont spécifiées dans les Recommandations relatives aux équipements en question.

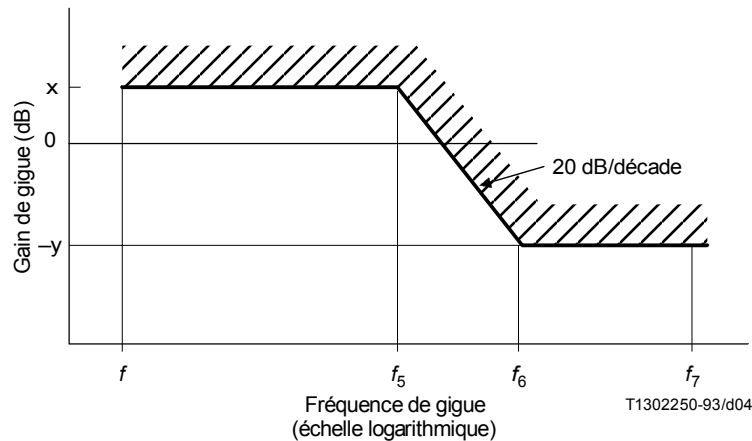


FIGURE 4/G.823

### Caractéristiques types du transfert de la gigue

## 4 Principes à appliquer pour mesurer la gigue

Les mesures de la gigue peuvent être réparties en deux catégories faciles à distinguer:

- les mesures utilisant un signal de trafic non défini que l'on peut généralement considérer comme étant de nature quasi aléatoire (généralement applicables dans les conditions de l'exploitation);
- les mesures utilisant des séquences d'essai spécifiques (généralement applicables pour les essais en laboratoire, en usine et de recette).

### 4.1 Mesures utilisant un signal de trafic non défini

En raison de la nature quasi aléatoire de la gigue et de sa dépendance éventuelle à l'égard de la charge de trafic, les mesures crête à crête sur les réseaux dans les conditions normales d'exploitation doivent, pour être précises, s'étaler sur de longues périodes. Dans la pratique, on prévoit que l'expérience des différents systèmes permettra de déceler les anomalies sur de plus courtes périodes de mesures et de prévoir ainsi que la limite maximale admissible risque d'être dépassée pendant un intervalle de mesure plus long.

Les limites recommandées pour le réseau en 2 ont été calculées de telle sorte que la probabilité d'un dépassement des niveaux soit très faible. L'observation pratique d'une telle grandeur avec un degré élevé de confiance nécessite un intervalle de mesure inacceptable. Pour en tenir compte, il faudra peut-être parfois introduire une limite plus basse, mais voisine, ayant une plus grande probabilité d'apparition et facilitant les mesures sur un intervalle de temps raisonnablement court. Ces aspects font l'objet d'un complément d'étude.

### 4.2 Mesures utilisant une séquence d'essai spécifique

Etant donné les avantages que présente l'évaluation des caractéristiques de la gigue des équipements de lignes numériques utilisant une séquence binaire pseudo-aléatoire (PRBS) (*pseudo-random binary sequence*) spécifique, il convient de déterminer des limites appropriées pour cette condition d'essai unique. Bien que l'utilisation de tels signaux d'essai déterministes soit extrêmement utile pour les essais de recette et de mise en service, les résultats doivent correspondre à une situation d'exploitation dans laquelle l'information contenue dans le signal présentera probablement un caractère plus aléatoire (par exemple un signal de type téléphonique). L'expérience montre qu'il est généralement possible d'établir un rapport entre une mesure fondée sur le trafic et une mesure fondée sur une séquence PRBS spécifique, en appliquant un facteur de correction approprié (Annexe A).

# Remplacée par une version plus récente

L'utilisation d'une séquence PRBS pour la mesure de la gigue peut comporter des inconvénients car, pour que la mesure soit valable, la séquence PRBS doit avoir un spectre adéquat compris dans la largeur de bande de la gigue du système soumis aux mesures. Lorsque le spectre est inadéquat, une correction appropriée doit être appliquée si l'on veut établir une comparaison significative entre la valeur mesurée et les limites spécifiées. Cet aspect fait l'objet d'un complément d'étude (Annexe A).

## 4.3 Interaction du signal d'essai et des dispositifs de traitement du signal intégrés aux systèmes de transmission

L'inclusion de dispositifs additionnels de traitement du signal intégrés à un système de transmission influence souvent les caractéristiques observées de la gigue. Des études ont montré une interaction du signal transmis, en particulier s'il est pseudo-aléatoire ou fortement structuré, avec les embrouilleurs numériques et les convertisseurs de code en ligne, produisant des effets intéressants qui sont observés sous forme de modification de la qualité de fonctionnement de ces équipements. Tous les effets d'interaction aboutissent à une modification des statistiques du signal transmis, causant un changement de la gigue sensible à la séquence produite dans chacun des répéteurs. Une manifestation caractéristique de cette interaction est que les mesures successives, effectuées à l'aide d'un signal de mesure identique pour chaque mesure sur un système de transmission comportant ces dispositifs, donnent une gamme très variée d'amplitudes de gigue crête à crête ou en valeur efficace.

Les études ont montré que les facteurs suivants influencent les caractéristiques observées de la gigue:

- les connexions de retour aussi bien sur le générateur du signal d'essai à séquence PRBS que sur l'embrouilleur du système de transmission;
- le nombre d'étapes du générateur du signal d'essai à séquence PRBS et de l'embrouilleur du système de transmission;
- la présence d'un convertisseur de code dans le système de transmission.

En conséquence, pour choisir le signal d'essai pour les besoins de la validation de l'équipement:

- a) il est déconseillé d'utiliser un générateur de signal d'essai à séquence PRBS dont la longueur de cycle présente des facteurs communs avec l'embrouilleur incorporé au système de transmission;
- b) si l'on a besoin d'un signal aléatoire, il faut éviter que le générateur de signal d'essai à séquence PRBS et l'embrouilleur du système de transmission aient une configuration identique.

## 5 Accumulation de la gigue dans les réseaux numériques

La diversité des configurations de réseau empêche l'étude de tous les cas possibles. Pour analyser une configuration de réseau particulière, il faut partir des renseignements relatifs aux caractéristiques de la gigue des différents équipements et de modèles appropriés d'accumulation de la gigue. L'Annexe B vise à donner assez de renseignements pour permettre aux organisations de procéder à ces évaluations.

# Remplacée par une version plus récente

## Annexe A

### Utilisation d'une séquence binaire pseudo-aléatoire pour la mesure de la gigue sur des systèmes de ligne numériques, des systèmes de radiocommunication et des systèmes à fibres optiques

(Cette annexe fait partie intégrante de la présente Recommandation)

#### A.1 Relation entre une mesure aléatoire fondée sur le trafic et une mesure fondée sur une PRBS

Il est souvent pratique de simuler un signal de trafic de type aléatoire au moyen d'une séquence binaire pseudo-aléatoire (PRBS). Toutefois, l'utilisation d'un tel signal d'essai pour la mesure de la gigue tend à donner des résultats optimistes par rapport à une mesure identique qui utilise un signal de trafic contenant des informations plus aléatoires. Cette disparité tient au fait que le signal de trafic, qui est généralement de nature non déterministe, peut engendrer une gamme pratiquement illimitée d'amplitudes de gigue, contrairement à la séquence PRBS qui, de par sa nature quasi aléatoire, ne peut engendrer qu'une gamme limitée d'amplitudes de gigue. L'expérience acquise en matière d'exploitation a permis de définir un facteur de correction établissant une relation entre les deux types de mesure, mais il est extrêmement difficile de fixer une valeur précise pour chaque situation pratique imaginable. La valeur effective de ce facteur de correction dépend de nombreux éléments étroitement liés: période de mesure, longueur du système, valeur  $Q$  du circuit de rétablissement du rythme, longueur de la séquence et présence d'embrouilleurs. Pour établir un rapport entre une mesure fondée sur un trafic aléatoire (effectuée pendant un intervalle relativement court) et une séquence PRBS spécifique, il faut appliquer les facteurs de correction suivants, qui représentent sans doute un bon choix pratique dans la plupart des cas:

- 1,5 à 2048 kbit/s et 8448 kbit/s (en supposant que l'on utilise une séquence PRBS de  $2^{15} - 1$  bit obtenue conformément à la Recommandation O.151),
- 1,3 à 34 368 kbit/s et 139 264 kbit/s (en supposant que l'on utilise une séquence PRBS de  $2^{23} - 1$  bit obtenue conformément à la Recommandation O.151).

On en déduit la relation suivante:

$$\left[ \begin{array}{l} \text{Valeur estimée de l'amplitude de} \\ \text{la gigue pendant la transmission} \\ \text{du signal aléatoire (trafic)} \end{array} \right] = \text{Facteur de correction} \times \left[ \begin{array}{l} \text{Valeur mesurée de l'amplitude} \\ \text{de la gigue en utilisant une} \\ \text{séquence PRBS spécifique} \end{array} \right]$$

#### A.2 Contenu spectral de la séquence PRBS

La séquence PRBS étant par nature cyclique, elle se caractérise par un spectre de puissance constitué de raies spectrales apparaissant à intervalles régulièrement espacés. Pour obtenir des résultats significatifs, où l'erreur de mesure soit acceptable, la séquence PRBS utilisée pour la mesure de la gigue de sortie doit avoir un contenu spectral adéquat compris dans la largeur de bande de la gigue du système soumis aux mesures. On observe que la largeur de bande du spectre de la gigue à la sortie d'une chaîne de régénérateurs numériques est fonction du facteur  $Q$  du circuit de rétablissement du rythme et du nombre de régénérateurs en cascade [1].

D'où la formule:

$$\text{Largeur de bande de la gigue} = \frac{f_1}{Q \times n} \text{ [Hz] pour une valeur élevée de } n$$

dans laquelle

- $f_1$  est la fréquence du signal de rythme extraite par le circuit de rétablissement du rythme du signal entrant;
- $Q$  est le facteur  $Q$  d'un répéteur;
- $n$  est le nombre de répéteurs en cascade;

# Remplacée par une version plus récente

et la formule:

$$\text{taux de répétition de la séquence PRBS} = \frac{f}{L} \text{ [Hz]}$$

dans laquelle

$f$  est le débit binaire; et

$L$  est la longueur de la séquence.

Pour que le contenu spectral soit adéquat, la fréquence de répétition doit être inférieure à la largeur de bande de la gigue du système soumis aux mesures, divisée par  $y$ . (La valeur à retenir pour  $y$  doit faire l'objet d'un complément d'étude.)

D'où

$$\frac{f}{L} \leq \frac{f_1}{y \times Q \times n}$$

et

$$L \geq y \times n \times Q \times \frac{f}{f_1}$$

## Exemples

Pour le code en ligne B6ZS  $f = f_1$  et  $L \geq y \times n \times Q$

Pour un code en ligne quaternaire non redondant  $\frac{f}{f_1} = \frac{2}{1}$  et  $L \geq y \times n \times Q \times 2$

Si le système utilise un embrouilleur ou une technique de transcodage (4B3T, par exemple), il pourra en être tenu compte afin de réduire la longueur de la séquence d'essai.

## Annexe B

### Accumulation de la gigue dans les réseaux numériques et principes correspondants

(Cette annexe fait partie intégrante de la présente Recommandation)

#### B.1 Accumulation de la gigue dans les réseaux numériques

##### B.1.1 Relations d'accumulation de la gigue pour les équipements numériques homogènes en cascade

###### B.1.1.1 Systèmes de ligne numériques de radiocommunication et à fibres optiques

Avec ce type d'équipement, la relation applicable dépend beaucoup de plusieurs facteurs: contenu du signal transmis, dispositif de rétablissement du rythme, incorporation d'un ensemble embrouilleur-désembrouilleur, etc. On distingue plusieurs relations.

# Remplacée par une version plus récente

## B.1.1.1.1 Régénérateurs homogènes en cascade

La plupart des répéteurs numériques actuellement en service sont des répéteurs régénérateurs à synchronisation automatique, c'est-à-dire que le signal de rythme obtenu à partir du signal entrant assure régulièrement le synchronisme du signal de sortie. Les imperfections des circuits provoquent la composante principale de la gigue, qui dépend de la séquence des impulsions du signal numérique transmis, et qui est appelée «gigue dépendant de la séquence». Les mécanismes qui engendrent la gigue dans un régénérateur ont été longuement étudiés et sont principalement liés aux imperfections du circuit de récupération du rythme [2], [3] et [4].

Comme la gigue qui dépend de la séquence en provenance de sections élémentaires régénérées constitue le type dominant de gigue dans un réseau, il convient d'examiner la façon dont elle s'accumule. Un répéteur régénérateur exerce l'effet d'un filtre passe-bas sur la gigue du signal d'entrée, mais il engendre également une gigue qui peut être représentée par une source de gigue supplémentaire à l'entrée. Si cette gigue ajoutée était réellement aléatoire, contrairement à la gigue qui dépend de la séquence, la valeur efficace totale de la gigue,  $J_N$ , observée sur le signal numérique au bout de  $N$  régénérateurs serait approchée par la formule:

$$J_N \approx J \times \sqrt[4]{N} \quad (\text{B-1})$$

dans laquelle  $J$  est la valeur efficace de la gigue produite par un seul régénérateur et provenant de sources de gigue non corrélées. Cette équation est fondée sur l'hypothèse que les gigues ajoutées aux différents régénérateurs ne sont pas corrélées entre elles.

Cependant, la gigue ajoutée dépendant pour l'essentiel de la séquence et celle-ci étant la même à chaque régénérateur, on peut admettre que la gigue ajoutée à chaque régénérateur dans une chaîne de régénérateurs semblables est la même. Dans ce cas, on peut montrer que les éléments basse fréquence de la gigue s'ajoutent de façon linéaire, alors que les éléments haute fréquence sont de plus en plus affaiblis par l'effet de filtre passe-bas dû aux régénérateurs. En cas de transmission d'un signal aléatoire, la valeur efficace de la gigue,  $J_N$ , présente sur le signal au bout de  $N$  régénérateurs, est donnée par la formule:

$$J_N \approx J_1 \times \sqrt{2N} \quad \text{pour une valeur élevée de } N \quad (\text{B-2})$$

dans laquelle  $J_1$  est la valeur efficace de la gigue produite par un seul régénérateur et provenant de mécanismes dépendants de la séquence [1].

### NOTES

1 L'expérience acquise en exploitation permet d'obtenir des valeurs de  $J_1$  de 0,4 à 1,5%, par l'emploi d'équipements ayant un bon rendement d'un intervalle unitaire.

2 L'utilisation d'une boucle à verrouillage de phase pour rétablir le rythme entraîne une légère augmentation du taux d'accumulation, comme l'indique la formule:

$$J_N = J_1 \times \sqrt{2NA} \quad (\text{B-3})$$

dans laquelle le facteur  $A$  dépend à la fois du nombre de régénérateurs et de l'amortissement des boucles à verrouillage de phase. Ce dernier paramètre est généralement choisi, pour cette application, de telle sorte que  $A$  ait une amplitude légèrement supérieure à l'unité.

3 La mise en œuvre de la récupération du rythme à l'aide d'un filtre d'ondes acoustiques de surface transverses produit un accroissement du même ordre que celui qu'on obtient pour des sources de gigue non corrélées. Cet accroissement favorable de la gigue se produit en raison du retard important qui réduit la corrélation entre le signal du rythme récupéré et le train de données. La gigue dépendant de la séquence du système devient donc réellement aléatoire et tend à s'accumuler de la même manière que celle qu'on obtient pour des sources de gigue non corrélées. Le seul effet secondaire notable est une altération marginale de la gigue de verrouillage. Cette accumulation favorable de la gigue n'est pas perçue par les résonateurs d'ondes acoustiques de surface en raison de leur mode de fonctionnement différent [9].

4 Les répéteurs comportant des circuits fondés sur des transformations de la séquence représentent effectivement des sources de gigue non corrélées causant une accumulation de la gigue indépendante du système. Par exemple, une transformation de la séquence fondée sur l'addition modulo 2 du signal et sa version retardée (séquence de Huffman) se traduit par un accroissement de la valeur efficace de la gigue comme approximativement la racine quatrième du nombre de répéteurs [8].

# Remplacée par une version plus récente

Les équations (B-1) et (B-2) font apparaître deux résultats importants:

- a) la gigue dépendant de la séquence s'accumule plus rapidement que la gigue indépendante de la séquence, lorsque le nombre de régénérateurs augmente; et
- b) l'amplitude de la gigue produite par une chaîne de régénérateurs augmente de façon illimitée lorsque le nombre de régénérateurs augmente.

La gigue produite par une séquence aléatoire est elle-même aléatoire par nature, et l'on considère qu'elle a une fonction de distribution de probabilité d'amplitude à peu près gaussienne. Il est donc possible de calculer, pour une amplitude de valeur efficace donnée (écart type), la probabilité de dépassement d'une amplitude crête à crête donnée. Il est fréquent d'admettre, à des fins de spécification, un rapport crête à crête/valeur efficace compris entre 12 et 15, un tel rapport ayant une probabilité de dépassement très faible.

En revanche, quand le signal à transmettre se compose de deux séquences répétitives, alternées à basse fréquence, la gigue se manifeste sous la forme d'une onde basse fréquence répétitive dont l'amplitude est proportionnelle au nombre de régénérateurs, ce qui peut conduire à des amplitudes très élevées de la gigue. En pareils cas, l'amplitude maximale crête à crête de la gigue ( $J_{NP}$ ) est exprimée par la formule suivante:

$$J_{NP} = d \times N \quad (\text{B-4})$$

dans laquelle  $d$  est la gigue sensible à la séquence (PSJ) (*pattern sensitive jitter*) produite par un seul régénérateur soumis à des séquences récurrentes alternées. Cette formule suppose que la cadence de récurrence soit suffisamment lente pour atteindre les conditions de régime permanent. La valeur effective dépend de la séquence utilisée.

Cette situation est très peu probable dans des conditions normales d'exploitation, car le signal transmis est généralement constitué d'éléments de trafic provenant de sources différentes, bien que cela ne soit pas nécessairement le cas pour la fréquence de ligne primaire, ainsi que d'un signal de verrouillage de trame, d'éléments numériques de commande de la justification, etc. En outre, il est possible de réduire encore la probabilité d'apparition de séquences fixes en utilisant des embrouilleurs numériques qui tendent à rendre le signal aléatoire.

## B.1.1.1.2 Systèmes de ligne numériques, radioélectriques et à fibres optiques homogènes en cascade comportant des embrouilleurs et des réducteurs de gigue

Il faut envisager de doter d'un ensemble embrouilleur/désembrouilleur les systèmes homogènes devant être connectés en cascade (qu'il s'agisse de systèmes de ligne numériques, radioélectriques ou à fibres optiques). En pareils cas, la contribution de la gigue sur chaque système n'étant pas corrélée, on constate qu'elle augmente comme la racine quatrième du nombre de systèmes en cascade. On peut donc calculer la valeur efficace de la gigue,  $J_M$ , observée pour un signal numérique au bout de  $M$  systèmes de ligne numériques, radioélectriques ou à fibres optiques, au moyen de la formule:

$$J_M \approx J_S \times \sqrt[4]{KM} \quad (\text{B-5})$$

dans laquelle  $J_S$  est la valeur efficace de la gigue obtenue à partir d'un seul système et  $K$  est une constante comprise entre 1 et 2. Pour de grandes valeurs de  $M$ ,  $K = 2$ .

Si des réducteurs de gigue s'ajoutent aux embrouilleurs, la même relation d'accumulation peut s'appliquer, sauf que la valeur de  $J_S$  est sensiblement réduite. En pareils cas, la valeur efficace de la gigue,  $J_S$ , est donnée par la formule:

$$J_S \approx 2N J \sqrt{\frac{f_c}{B}} \quad \text{pour une valeur élevée de } N \quad (\text{B-6})$$

dans laquelle  $J$  est la valeur efficace de la gigue obtenue à partir d'un seul répéteur,  $N$  le nombre de répéteurs en cascade,  $f_c$  la fréquence de coupure du réducteur de gigue et  $B$  la demi-largeur de bande d'un seul répéteur:

$$\text{Diagramme} = \frac{W_0}{2Q}$$

NOTE – La validité des relations indiquées dans le présent paragraphe doit faire l'objet d'un complément d'étude, en particulier si des réducteurs de gigue sont prévus, le caractère aléatoire tenant à la longueur d'embrouilleur, communément considérée comme acceptable, risquant d'être insuffisant pour garantir la non-corrélation des contributions de gigue, sauf dans la largeur de bande des fonctions de transfert de la gigue, au point que l'accumulation de la racine quatrième domine.



# Remplacée par une version plus récente

## B.1.1.2 Equipements muldex

Avec ces équipements, le seul type de gigue susceptible d'une accumulation importante est la gigue basse fréquence de durée d'attente variable dont certains éléments peuvent être observés aux fréquences comprises dans la bande passante de la boucle à verrouillage de phase des démultiplexeurs. Selon toute probabilité, la croissance de la gigue de durée d'attente sera comprise entre:

$$\sqrt[4]{N} \text{ et } \sqrt[2]{N},$$

$N$  représentant le nombre de paires de multiplexeurs/démultiplexeurs en cascade [5], [6] et [7].

Un complément d'étude est nécessaire pour déterminer une relation plus exacte.

## B.2 Principes relatifs à l'application pratique de relations d'accumulation de la gigue dans un réseau numérique

Ces aspects nécessitent un complément d'étude.

## Annexe C

### Modèle de référence de dérapage pour nœuds du réseau

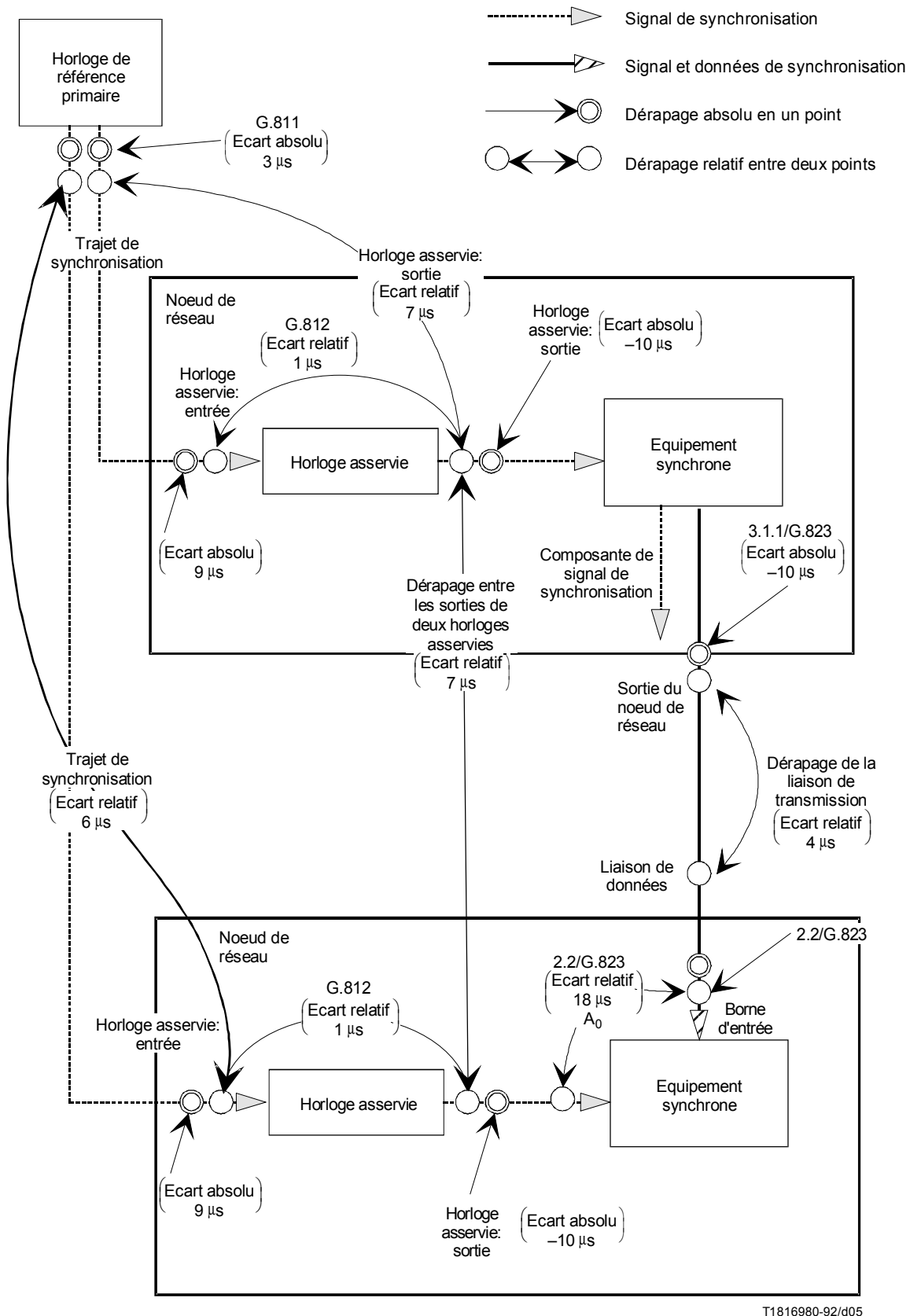
(Cette annexe fait partie intégrante de la présente Recommandation)

Un modèle de référence de dérapage pour nœuds du réseau, expliquant la valeur  $A_0$ , est donné à la Figure C.1.

Dans ce modèle, les hypothèses sont les suivantes:

- dérapage relatif maximal aux nœuds du réseau: 18  $\mu$ s;
- MTIE (erreur maximale sur la durée) d'une horloge de référence primaire: 3  $\mu$ s (comme dans la Recommandation G.811);
- MTIE à la sortie d'un nœud du réseau: 10  $\mu$ s (comme dans la présente Recommandation et la Recommandation G.824);
- dérapage relatif maximal des horloges asservies: 1  $\mu$ s (comme dans la Recommandation G.812).

# Remplacée par une version plus récente



NOTE – Cette figure prend l'hypothèse la moins favorable, d'addition linéaire du dérapage. Une analyse plus précise de l'accumulation du dérapage indique toutefois que cette hypothèse pêche par pessimisme. Ce point fera l'objet d'un complément d'étude.

FIGURE C.1/G.823  
Dérapage: modèle de référence

# Remplacée par une version plus récente

## Références

- [1] BYRNE (C. J.), KARAFIN (R. J.) et ROBINSON (D. R.): Systematic jitter in a chain of digital repeaters, *Bell System Technical Journal*, vol. 42, 1963.
- [2] BENNETT (W. R.): Statistics of regenerative digital transmission, *Bell System Technical Journal*, vol. 37, 1958.
- [3] ROWE (H. E.): Timing in a long chain of regenerative repeaters, *Bell System Technical Journal*, vol. 37, 1958.
- [4] MANLEY (J. M.): Generation and accumulation of timing noise in PCM systems – An experimental and theoretical study, *Bell System Technical Journal*, vol. 48, 1969.
- [5] DUTTWEILER (A. L.): Waiting time jitter, *Bell System Technical Journal*, vol. 51, n° 1, pp. 165-207, janvier 1972.
- [6] CHOW (P. E. K.): Jitter due to pulse stuffing synchronization, *IEEE Transaction on Communications*, COM-21, n° 7, pp. 854-859, juillet 1973.
- [7] CLEOBURY (D. J.): Characteristics of a digital multiplex equipment employing justification techniques, *IEE Conference on Telecommunication Transmission*, pp. 83-86, 1975.
- [8] ZEGER (L. E.): The reduction of systematic jitter in a transmission chain with digital regenerators, *IEEE Transaction on Communications Technology*, COM-15(4), 1976.
- [9] HIROSAKAI (B.): Jitter accumulation property in a regenerative repeater system with ASWF as a timing extracting filter, *NEC Research and Development* n° 43, octobre 1976.