



UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

CCITT

COMITÉ CONSULTATIF
INTERNATIONAL
TÉLÉGRAPHIQUE ET TÉLÉPHONIQUE

G.823

(11/1988)

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

Objectifs de qualité et de disponibilité

**Régulation de la gigue et du dérapage dans
les réseaux numériques fondés sur la
hiérarchie à 2048 kbit/s**

Réédition de la Recommandation du CCITT G.823 publiée
dans le Livre Bleu, Fascicule III.5 (1989)

NOTES

- 1 La Recommandation G.823 du CCITT a été publiée dans le fascicule III.5 du Livre Bleu. Ce fichier est un extrait du Livre Bleu. La présentation peut en être légèrement différente, mais le contenu est identique à celui du Livre Bleu et les conditions en matière de droits d'auteur restent inchangées (voir plus loin).
- 2 Dans la présente Recommandation, le terme «Administration» désigne indifféremment une administration de télécommunication ou une exploitation reconnue.

Recommandation G.823

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

(Malaga-Torremolinos, 1984; modifiée à Melbourne, 1988)

Le CCITT,

considérant

(a) que la gigue, qui est définie comme les variations à court terme des instants significatifs d'un signal numérique, par rapport aux positions dans le temps qu'ils devraient théoriquement occuper, peut se produire dans les réseaux numériques;

(b) que, faute de mesures appropriées, l'accumulation de la gigue peut, dans certaines circonstances, être telle que les dégradations suivantes peuvent se produire:

- i) probabilité accrue d'introduction d'erreurs aux points de régénération des signaux numériques, en raison d'un décalage des signaux de rythme par rapport à leur position optimale dans le temps;
- ii) introduction de glissements non contrôlés dans les signaux numériques par débordement des mémoires et épuisement de certains types d'équipements terminaux comportant des mémoires-tampons et des comparateurs de phase (réducteurs de gigue et certains équipements de multiplexage numérique, par exemple);
- iii) dégradation des informations analogiques à codage numérique par suite de la modulation de phase des échantillons reconstitués dans le dispositif de conversion numérique-analogique à l'extrémité de la connexion;

(c) que, contrairement à d'autres dégradations dans le réseau, il est possible de réduire l'amplitude de la gigue en utilisant des réducteurs de gigue. Selon la taille et la complexité des réseaux, il faut parfois employer des dispositifs de ce type;

(d) que le dérapage, défini comme étant les variations à long terme des instants significatifs d'un signal numérique par rapport à leur position idéale dans le temps, peut se produire à la suite de modifications du temps de propagation sur les supports et équipements de transmission;

(e) qu'il est nécessaire de tenir compte du dérapage aux entrées des équipements numériques si l'on veut réduire au minimum les glissements commandés ou non commandés,

recommande

d'appliquer les directives et les limites suivantes pour la planification des réseaux et la conception des équipements.

1 Régulation de la gigue dans les réseaux numériques – principe de base

La régulation de la gigue repose sur les critères suivants:

- nécessité de recommander pour le réseau une limite maximale ne devant être dépassée à aucune interface hiérarchique;
- nécessité de recommander un cadre cohérent pour la spécification des différents équipements numériques;
- nécessité de fournir aux organisations assez de renseignements et de directives pour leur permettre de mesurer et d'étudier l'accumulation de la gigue dans toutes les configurations de réseau.

2 Limites à la valeur maximale de la gigue de sortie et du dérapage à une interface quelconque de la hiérarchie du réseau

2.1 Limites de la gigue sur le réseau

Les limites indiquées dans le tableau 1/G.823 représentent les valeurs maximales admissibles de la gigue aux interfaces hiérarchiques dans un réseau numérique. Ces limites doivent être observées quels que soient les conditions d'exploitation et le nombre d'équipements précédant l'interface. Ces limites de réseau sont compatibles avec la tolérance minimale de gigue que les entrées des équipements doivent admettre.

Sur des réseaux en exploitation, il faut tenir compte du fait que la gigue des signaux aux interfaces peut atteindre la limite maximale admissible pour le réseau. On tiendra particulièrement compte de ce fait pour la conception d'équipements dotés de réducteurs de gigue, où il faudra tenir compte à la fois de cette gigue et de la gigue supplémentaire produite dans le système avant la mise en place du réducteur de gigue. Si l'amplitude de la gigue atteint le niveau maximum admissible à l'interface entre deux pays, il appartient aux Administrations nationales de prendre les mesures appropriées pour remédier à cette situation qui, précisons-le, n'est guère susceptible de se produire très fréquemment.

Les dispositifs de mesure de la gigue à la sortie d'une interface numérique sont représentés sur la figure 1/G.823. Les limites de gigue spécifiques et les valeurs des fréquences de coupure du filtre pour les différents niveaux hiérarchiques sont données au tableau 1/G.823. 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.

TABLEAU 1/G.823

Gigue maximale admissible à une interface hiérarchique

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 (remarque 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	3 500 kHz

Remarque 1 – Pour l'interface codirectionnelle seulement.

Remarque 2 – Les valeurs de fréquence indiquées entre parenthèses ne s'appliquent qu'à certaines interfaces nationales.

Remarque 3 – Intervalle unitaire:

pour 64 kbit/s	= 15,6 μ s
pour 2 048 kbit/s	= 488 ns
pour 8 448 kbit/s	= 118 ns
pour 34 368 kbit/s	= 29,1 ns
pour 139 264 kbit/s	= 7,18 ns

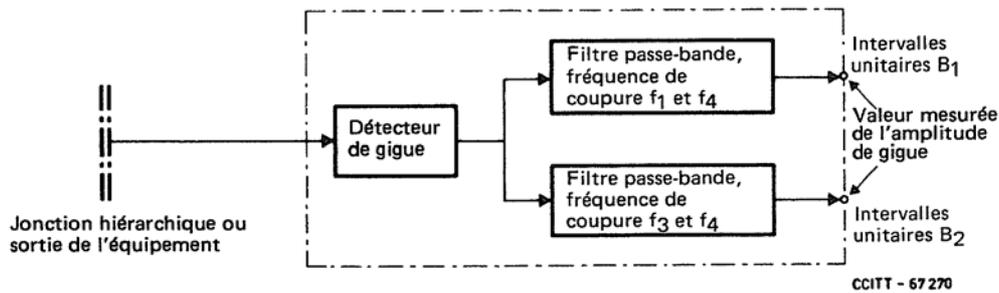


FIGURE 1/G.823

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

Pour les systèmes dans lesquels le signal de sortie est commandé par une horloge autonome (par exemple un oscillateur à quartz), des valeurs plus strictes de gigue en sortie peuvent être définies dans les spécifications pertinentes relatives aux équipements (par exemple pour le muldex dans la Recommandation G.735, la valeur maximale de la gigue crête à crête en sortie est de 0,05 IU).

2.2 *Limites du dérapage sur le réseau*

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

Sur une période de S secondes, l'erreur relative maximale sur la durée (ERMSD) ne doit pas dépasser les valeurs suivantes:

- 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 .

Remarque – La spécification générale qui en découle est représentée à la figure 2/G.823.

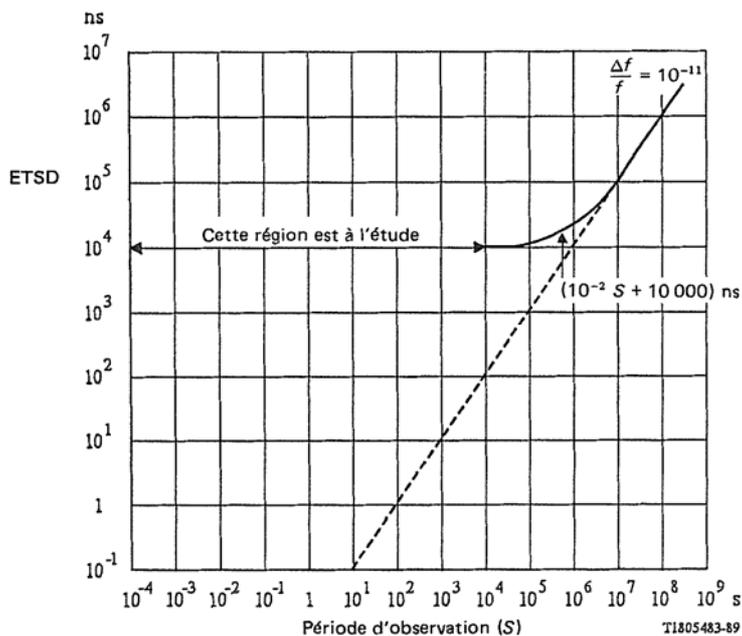


FIGURE 2/G.823

Erreur relative maximale admissible sur la durée (ERMSD) en fonction de la période d'observation S pour la sortie d'un nœud de réseau

2.3 *Considérations de gigue et de dérapage sur les réseaux synchronisés*

Il est admis que, dans un réseau synchronisé, l'équipement numérique installé aux nœuds peut faire face aux variations autorisées de courte durée des signaux de rythme 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 autres événements, l'erreur relative (ETSD) sur la durée entre le signal d'entrée et le signal de rythme interne de l'équipement de terminaison peut 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 de glissement moyen à long terme du glissement commandé résultant de ce mécanisme est donnée par la Recommandation G.811, soit un glissement en 70 jours.

3 **Limites de gigue appropriées aux équipements numériques**

3.1 *Principe de spécification de base*

Il convient de spécifier les caractéristiques de la gigue des différents équipements numériques à trois égards:

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 quelconque recommandée dans un réseau, les entrées de tous les équipements doivent pouvoir admettre des niveaux de gigue pouvant atteindre la limite maximale pour le réseau définie dans le tableau 1/G.823.

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 dans la pratique dans un réseau. Néanmoins, l'essai garantit que le facteur « Q » lié au rétablissement du signal de rythme des circuits d'entrée de l'équipement 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 sinusoïdale présentant le rapport amplitude-fréquence défini à la figure 3/G.823. Le tableau 2/G.823 indique les limites appropriées pour les différents niveaux hiérarchiques.

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/G.823).

Pour l'établissement de ces limites, les effets de dérapage sont considérés comme prédominants aux fréquences inférieures à f_1 et de nombreux équipements de transmission, tels que les systèmes de lignes 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 convient d'en tenir compte 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 faudra 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.

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 l'occurrence d'un glissement commandé ne devrait pas provoquer un autre glissement. Pour éviter un tel glissement, l'équipement devrait être conçu avec un hystérésis approprié qui devrait être d'au moins 18 microsecondes.

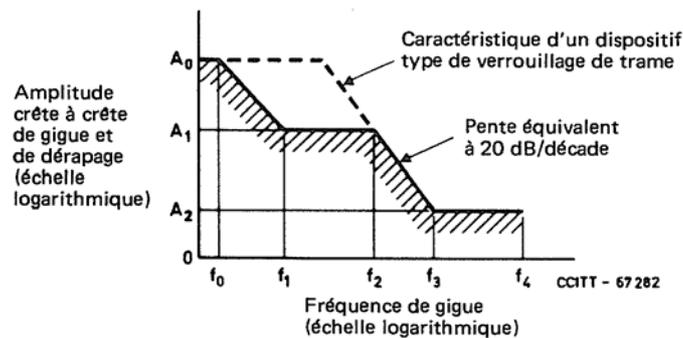


FIGURE 3/G.823

Limite inférieure de la valeur maximale admissible de gigue et de dérapage d'entrée

TABLEAU 2/G.823

Valeur des paramètres de tolérance applicables à la gigue et au dérapage d'entrée

Valeurs des paramètres Débit binaire kbit/s	Intervalle unitaire de crête à crête			Fréquence					Signal d'essai pseudoaléatoire
	A_0	A_1	A_2	f_0	f_1	f_2	f_3	f_4	
64 (remarque 1)	1,15 (18 μ s)	0,25	0,05	$1,2 \times 10^{-5}$ Hz	20 Hz	600 Hz	3 kHz	20 kHz	$2^{11} - 1$ (Rec. O.152)
2048	36,9 (18 μ s)	1,5	0,2		20 Hz	2,4 kHz (93 Hz)	18 kHz (700 Hz)	100 kHz	$2^{15} - 1$ (Rec. O.151)
8448	152 (18 μ s)	1,5	0,2	$1,2 \times 10^{-5}$ Hz	20 Hz	400 Hz (10,7 kHz)	3 kHz (80 kHz)	400 kHz	$2^{15} - 1$ (Rec. O.151)
34368	*	1,5	0,15	*	100 Hz	1 kHz	10 kHz	800 kHz	$2^{23} - 1$ (Rec. O.151)
139264	*	1,5	0,075	*	200 Hz	500 Hz	10 kHz	3500 kHz	$2^{23} - 1$ (Rec. O.151)

* Valeurs à l'étude.

Remarque 1 – Pour l'interface codirectionnelle seulement.

Remarque 2 – Pour les interfaces des réseaux nationaux, on peut utiliser les valeurs de fréquences (f_2 et f_3) indiquées entre parenthèses.

Remarque 3 – IU = Intervalle unitaire:

- pour 64 kbit/s 1 IU = 15,6 μ s
- pour 2048 kbit/s 1 IU = 488 ns
- pour 8448 kbit/s 1 IU = 118 ns
- pour 34368 kbit/s 1 IU = 29,1 ns
- pour 139264 kbit/s 1 IU = 7,18 ns

Remarque 4 – La valeur de A_0 (18 μ s) représente une excursion de phase relative entre le signal entrant et le signal local de rythme interne provenant de l'horloge de référence. Cette valeur de A_0 correspond à une valeur absolue de 21 μ s à l'entrée d'un nœud (accès d'entrée de l'équipement) et suppose un dérapage maximum de 11 μ s pour la liaison de transmission entre deux nœuds. La différence de 3 μ s correspond aux 3 μ s admis pour l'excursion de phase à long terme dans l'horloge de référence nationale [§ 3c) de la Recommandation G.811].

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 maxima 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/G.823.

3.1.3 Caractéristiques de transfert de gigue et de dérapage

Les caractéristiques de transfert de 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 gigue pour un débit binaire donné. Lorsqu'une gigue est présente à l'entrée d'un équipement numérique, très souvent une partie en est transmise à l'accès de sortie correspondant. De nombreux types d'équipements numériques atténuent les composantes de gigue de fréquence élevée présentes à l'entrée. 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/G.823 donne la forme générale de la caractéristique d'un transfert de gigue type. On trouve dans les Recommandations pertinentes les valeurs appropriées aux niveaux x et $-y$ dB et les fréquences f , f_5 , f_6 et f_7 .

Etant donné que la bande passante 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.

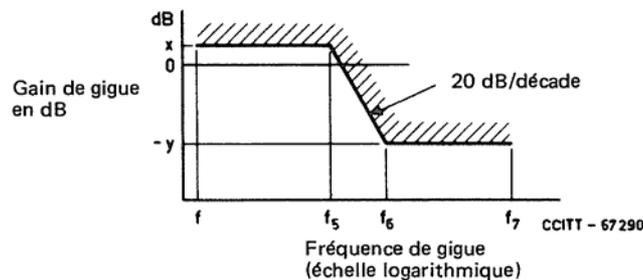


FIGURE 4/G.823

Caractéristiques types du transfert de la gigue

3.2 Sections numériques

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

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

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.

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 au § 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 plus 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 (SBPA) spécifique, il convient de déterminer des limites appropriées pour cette condition d'essai unique. Bien que l'utilisation de signaux d'essai nécessitant la détermination d'autres facteurs 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 SBPA spécifique, en appliquant un facteur de correction approprié (annexe A).

L'utilisation d'une SBPA pour la mesure de la gigue peut comporter des inconvénients car, pour que la mesure soit valable, la SBPA doit avoir un contenu spectral adéquat compris dans la largeur de bande de la gigue du système soumis aux mesures. Lorsque le contenu spectral est insuffisant, 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 la gigue crête à crête ou en valeur efficace.

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

- les connexions de retour aussi bien sur le générateur du signal d'essai SBPA que sur l'embrouilleur du système de transmission;
- le nombre d'étapes du générateur du signal d'essai SBPA 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 SBPA 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 SBPA 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, 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.

ANNEXE A

(à la Recommandation G.823)

Utilisation d'une séquence binaire pseudo-aléatoire (SBPA) pour la mesure de la gigue sur des systèmes de lignes numériques, les systèmes de radiocommunication et les systèmes à fibres optiques

A.1 *Relation entre une mesure aléatoire fondée sur le trafic et une mesure fondée sur une SBPA*

Il est souvent pratique de simuler un signal de trafic de type aléatoire au moyen d'une SBPA. 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, par nature, ne demande généralement pas la détermination d'autres facteurs, peut engendrer une gamme pratiquement illimitée d'amplitudes de gigue, contrairement à la SBPA 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 aléatoire fondée sur le trafic (effectuée pendant un intervalle relativement court) et une SBPA spécifique, il faut appliquer les facteurs de correction suivants qui représentent sans doute le meilleur choix pratique dans la plupart des cas:

- 1,5 à 2 048 kbit/s et 8 448 kbit/s (en supposant que l'on utilise une SBPA de $2^{15} - 1$ bits 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 SBPA de $2^{23} - 1$ bits obtenue conformément à la Recommandation O.151).

On en déduit la relation suivante:

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

A.2 Contenu spectral de la SBPA

La SBPA 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 SBPA 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 de la chaîne de régénérateurs numériques est choisie en fonction du facteur Q du circuit de rétablissement du rythme et du nombre de régénérateurs en cascade [1].

D'où la formule:

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

dans laquelle

f_1 = fréquence du signal de rythme extraite du signal arrivant par le circuit de rétablissement du rythme

Q = facteur Q d'un répéteur

n = nombre de répéteurs en cascade

et la formule:

$$\text{fréquence de récurrence de la SBPA} = \frac{f}{L} \text{ [Hz]}$$

dans laquelle

f = débit binaire

L = longueur de la séquence

Pour que le contenu spectral soit adéquat, la fréquence de répétition doit être inférieure à $\frac{1}{y}$ de la largeur de bande de la gigue du système soumis aux mesures. (La valeur à retenir pour y doit faire l'objet d'un complément d'étude.)

D'où

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

et

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

Exemples:

Pour le code en ligne B6ZS $f = f_1$ $y = 1$ $L \geq y \times n \times Q$

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

(à la Recommandation G.823)

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 lignes 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:

a) Régénérateurs homogènes en tandem

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 d'arrivée assure régulièrement le synchronisme du signal de sortie. Les imperfections des circuits constituent le principal facteur de gigue, à l'origine d'une forme de gigue dépendant de la séquence des impulsions du signal numérique transmis, 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 rétablissement du rythme [2], [3] et [4].

La gigue qui dépend de la séquence en provenance de sections régénérées constituant 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 le niveau de 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 donnée par la formule:

$$J_N \simeq J \times \sqrt[4]{N} \quad (1)$$

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 la gigue ajoutée à chaque régénérateur n'est pas corrélée.

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 , observée sur le signal au bout de N régénérateurs, est donnée par la formule:

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

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].

Remarque 1 – L'expérience acquise en exploitation permet d'obtenir des valeurs d'intervalle unitaire comprises entre 0,4 et 1,5% pour J_1 , par l'emploi d'équipements ayant un bon rapport coût-utilité.

Remarque 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:

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

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.

Remarque 3 – La mise en œuvre de la récupération du rythme à l'aide d'un filtre d'ondes acoustiques de surface transverses produit un taux d'accumulation voisin de celui qu'on obtient pour des sources de gigue non corrélées. Cette accumulation 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 dégradation 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].

Remarque 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 une accumulation de la gigue en valeur efficace représentant approximativement la racine quatrième du nombre de répéteurs [8].

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

- a) la gigue liée à la séquence s'accumule plus rapidement que la gigue indépendante de la séquence, lorsque le nombre de régénérateurs augmente;
- 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 par nature aléatoire, 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 récurrentes, alternées à basse fréquence, la gigue se manifeste sous la forme d'une onde basse fréquence récurrente 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:

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

dans laquelle d est la gigue sensible à la séquence (PSJ) 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) *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 ou de systèmes radioélectriques). 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 ou systèmes radioélectriques, au moyen de la formule:

$$J_M \simeq J_S \times \sqrt[4]{KM} \quad (5)$$

dans laquelle J_S est la valeur efficace de la gigue obtenue à partir d'un seul système et K est une constante d'une valeur 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:

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

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 $\left(B = \frac{W_0}{2Q} \right)$.

Remarque – 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.

B.1.1.2 *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, le taux d'accumulation de la gigue de durée d'attente se situe entre $\sqrt[4]{N}$ 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.

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 Trans. 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.

SÉRIES DES RECOMMANDATIONS UIT-T

Série A	Organisation du travail de l'UIT-T
Série B	Moyens d'expression: définitions, symboles, classification
Série C	Statistiques générales des télécommunications
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	Transmission des signaux radiophoniques, télévisuels et autres signaux multimédias
Série K	Protection contre les perturbations
Série L	Construction, installation et protection des câbles et autres éléments des installations extérieures
Série M	RGT et maintenance des réseaux: systèmes de transmission, de télégraphie, de télécopie, circuits téléphoniques et circuits loués internationaux
Série N	Maintenance: circuits internationaux de transmission radiophonique et télévisuelle
Série O	Spécifications des appareils de mesure
Série P	Qualité de transmission téléphonique, installations téléphoniques et réseaux locaux
Série Q	Commutation et signalisation
Série R	Transmission télégraphique
Série S	Equipements terminaux de télégraphie
Série T	Terminaux des services télématiques
Série U	Commutation télégraphique
Série V	Communications de données sur le réseau téléphonique
Série X	Réseaux de données et communication entre systèmes ouverts
Série Y	Infrastructure mondiale de l'information et protocole Internet
Série Z	Langages et aspects informatiques généraux des systèmes de télécommunication