



UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

**UIT-T**

SECTEUR DE LA NORMALISATION  
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS  
DE L'UIT

**G.8251**

**Amendement 1**  
(06/2002)

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

Réseaux numériques – Objectifs de qualité et de  
disponibilité

---

Régulation de la gigue et du dérapage dans le  
réseau de transport optique (OTN)

**Amendement 1**

Recommandation UIT-T G.8251 (2001) – Amendement 1

---

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

CONNEXIONS ET CIRCUITS TÉLÉPHONIQUES INTERNATIONAUX	G.100–G.199
CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES COMMUNES À TOUS LES SYSTÈMES ANALOGIQUES À COURANTS PORTEURS	G.200–G.299
CARACTÉRISTIQUES INDIVIDUELLES DES SYSTÈMES TÉLÉPHONIQUES INTERNATIONAUX À COURANTS PORTEURS SUR LIGNES MÉTALLIQUES	G.300–G.399
CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DES SYSTÈMES TÉLÉPHONIQUES INTERNATIONAUX HERTZIENS OU À SATELLITES ET INTERCONNEXION AVEC LES SYSTÈMES SUR LIGNES MÉTALLIQUES	G.400–G.449
COORDINATION DE LA RADIODÉLÉPHONIE ET DE LA TÉLÉPHONIE SUR LIGNES	G.450–G.499
EQUIPEMENTS DE TEST	G.500–G.599
CARACTÉRISTIQUES DES SUPPORTS DE TRANSMISSION	G.600–G.699
EQUIPEMENTS TERMINAUX NUMÉRIQUES	G.700–G.799
RÉSEAUX NUMÉRIQUES	G.800–G.899
SECTIONS NUMÉRIQUES ET SYSTÈMES DE LIGNES NUMÉRIQUES	G.900–G.999
QUALITÉ DE SERVICE ET DE TRANSMISSION	G.1000–G.1999
CARACTÉRISTIQUES DES SUPPORTS DE TRANSMISSION	G.6000–G.6999
EQUIPEMENTS TERMINAUX NUMÉRIQUES	G.7000–G.7999
RÉSEAUX NUMÉRIQUES	G.8000–G.8999
Généralités	G.8000–G.8099
Objectifs de conception pour les réseaux numériques	G.8100–G.8199
<b>Objectifs de qualité et de disponibilité</b>	<b>G.8200–G.8299</b>
Fonctions et capacités du réseau	G.8300–G.8399
Caractéristiques des réseaux à hiérarchie numérique synchrone	G.8400–G.8499
Gestion du réseau de transport	G.8500–G.8599
Intégration des systèmes satellitaires et hertziens à hiérarchie numérique synchrone	G.8600–G.8699
Réseaux de transport optiques	G.8700–G.8799

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

# **Recommandation UIT-T G.8251**

## **Régulation de la gigue et du dérapage dans le réseau de transport optique (OTN)**

### **Amendement 1**

#### **Résumé**

Le présent amendement contient les extensions de la première version de la Rec. UIT-T G.8251 (11/2001) se rapportant à l'ajout du multiplexage ODUk.

#### **Source**

L'Amendement 1 de la Recommandation G.8251 de l'UIT-T, élaboré par la Commission d'études 15 (2001-2004) de l'UIT-T, a été approuvé le 13 juin 2002 selon la procédure définie dans la Résolution 1 de l'AMNT.

## 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.

## 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 2002

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>Page</b>
1) Introduction .....	1
2) Ajouts.....	1
2.1) Paragraphe 1 (Domaine d'application) .....	1
2.2) Annexe A – Paragraphe A.1 (Domaine d'application) .....	1
2.3) Paragraphe A.2 (Applications) .....	5
2.4) Paragraphe A.5.1.2 (Production de gigue des horloges ODCp).....	5
2.5) Paragraphe A.7.3 (Transfert de gigue des horloges ODCp).....	6
2.6) Appendice VI (Fonctions atomiques de réseau OTN) .....	7
2.7) Nouveaux Appendices VII et VIII .....	8
Appendice VII – Modèles théoriques de référence relatifs à l'accumulation de gigue et de dérapage à court terme de charge utile CBRx et ODUj[i].....	8
VII.1 Généralités.....	8
Appendice VIII – Etude de l'accumulation de gigue et de dérapage à court terme de charge utile CBRx et ODUj[i] .....	10
VIII.1 Introduction .....	10
VIII.2 Modèle de simulation .....	10
VIII.2.1 Filtre de mesure de gigue passe-haut de premier ordre.....	11
VIII.2.2 Filtre passe-bas du second ordre avec crêtage de gain et pente inclinée à 20 dB par décade .....	12
VIII.2.3 Modélisation du mappeur/multiplexeur .....	15
VIII.2.4 Modèle général .....	18
VIII.3 Résultat de la simulation de gigue et de dérapage à court terme.....	19
VIII.3.1 Résultats concernant l'accumulation de gigue large bande .....	21
VIII.4 Bibliographie .....	25



# Recommandation UIT-T G.8251

## Régulation de la gigue et du dérapage dans le réseau de transport optique (OTN)

### Amendement 1

#### 1) Introduction

Le présent amendement contient les extensions de la première version (2001) de la Rec. UIT-T G.8251 concernant l'ajout du multiplexage ODUk.

#### 2) Ajouts

##### 2.1) Paragraphe 1 (Domaine d'application)

*Remplacer le troisième alinéa par le texte suivant qui traduit le fait que la Rec. UIT-T G.8251 comporte maintenant des prescriptions relatives aux cas impliquant un multiplexage ODUk:*

Les limites de réseau indiquées au paragraphe 5, les spécifications de tolérance d'interface OTN indiquées au § 6.1 et les spécifications d'interface d'équipement OTN de l'Annexe A s'appliquent ou se rapportent à l'interface OTUk. Les débits binaires correspondant à ces spécifications sont des débits binaires d'unité de transport de canal optique K. Il est à noter que certaines des autres prescriptions mentionnées dans la présente Recommandation, par exemple à l'Annexe A concernant l'horloge démappeur (ODCp, *demapper clock*), l'horloge mappeur asynchrone (ODCa, *asynchronous mapper clock*), et l'horloge mappeur bit synchrone (ODCb, *bit-synchronous mapper clock*), s'appliquent à d'autres interfaces et à d'autres débits binaires (par exemple le démappeur est inclus dans la fonction puits d'adaptation entre le trajet ODUkP et le client CBR et le client ODUj[i], tandis que les horloges mappeur asynchrone et bit synchrone se trouvent dans la fonction de source d'adaptation entre le trajet ODUkP et le client). Dans la présente Recommandation, le terme *horloge*, utilisé dans l'expression horloge ODU (ODC, *ODU clock*) désigne une source de fréquence. Il est à noter que la Rec. UIT-T G.8251 contient des spécifications conjointement applicables à des clients CBRx non OTN mappés dans des unités ODUk et des clients ODUj[i] multiplexés dans des unités ODUk ( $k > j$ ).

##### 2.2) Annexe A – Paragraphe A.1 (Domaine d'application)

*a) Remplacer le premier alinéa par le texte suivant afin de tenir compte du fait que les horloges ODCa et ODCp peuvent maintenant également servir au multiplexage et au démultiplexage des unités ODUk:*

La présente annexe contient les spécifications relatives à l'horloge ODUk (ODC). Ci-dessous, le terme *horloge* désigne un circuit de filtrage et/ou de génération d'horloge. Quatre types d'horloge ODC sont définis, pour différentes applications (voir § A.2):

- 1) ODCa, pour le mappage asynchrone en unités ODUk de signaux clients à débit binaire constant (CBR, *constant bit rate*) (par exemple, client CBRx générique, client RS, etc.) et de signaux clients à débit binaire variable (VBR, *variable bit rate*) (par exemple, client VP, client GFP, etc.), pour le multiplexage asynchrone de signaux clients ODUj[i] ( $k > j$ ) en unités ODUk, pour la production de signaux Test/NULL et enfin pour la production de signaux AIS et OCI;
- 2) ODCb, pour le mappage bit synchrone en unités ODUk de signaux clients CBRx;

- 3) ODCr, pour la régénération 3R;
- 4) ODCp, pour le démappage de clients à débit binaire constant (CBR) et le démultiplexage de signaux clients ODU<sub>j</sub>[*i*] à partir de signaux ODU<sub>k</sub> ( $k > j$ ).

Les horloges ODCa et ODCb génèrent le signal de rythme pour les signaux ODU<sub>k</sub> et OTU<sub>k</sub> produits par un élément de réseau de transport optique. Les horloges ODCr génèrent le signal de rythme pour les signaux OTU<sub>k</sub> produits par un régénérateur 3R. L'horloge ODCp génère le signal de rythme nécessaire à un signal client démappé CBR<sub>x</sub> à débit binaire constant ou un signal ODU<sub>j</sub>[*i*] démultiplexé.

- b) *Remplacer le Tableau A.1 par le tableau suivant, de façon à:*
  - 1) *ajouter les fonctions atomiques pour multiplexage et démultiplexage ODU<sub>k</sub>;*
  - 2) *préciser que l'horloge ODCp sert maintenant au démappage aussi bien des clients CBR<sub>x</sub> non OTN que des unités ODU<sub>k</sub> multiplexées:*

**Tableau A.1/G.8251 – Récapitulation des types d'horloge ODUk (ODC)**

	<b>ODCa</b>	<b>ODCb</b>	<b>ODCr</b>	<b>ODCp</b>
Fonction atomique	ODUkP/CBRx-a_A_So ODUkP/GFP_A_So ODUkP/NULL_A_So ODUkP/PRBS_A_So ODUkP/RSn-a_A_So ODUkP/VP_A_So ODUkP/ODU[i]j_A_So ODUkP/ODU[i]j_A_Sk (horloge AIS) OTUk/ODUk_A_Sk (horloge AIS) OTUkV/ODUk_A_Sk (horloge AIS) ODUk_C (horloge OCI)	ODUkP/CBRx-b_A_So ODUkP/RSn-b_A_So	OTUk/ODUk_A_So et OTUk/ODUk_A_Sk (autrement dit, les horloges de ces fonctions atomiques sont concentrées dans une seule et unique horloge ODCr; voir la Rec. UIT-T G.798)	ODUkP/CBRx_A_Sk ODUkP/ODU[i]j_A_Sk
Précision de fréquence	±20 ppm	±20 ppm	±20 ppm	±20 ppm
Prise en charge du mode de fonctionnement libre	Oui	Oui	Oui	Oui
Prise en charge du mode verrouillé	Non	Oui	Oui	Oui
Prise en charge du mode conservatoire	Non	Non	Non	Non
Plage d'accrochage	S/O	±20 ppm	±20 ppm	±20 ppm
Plage de décrochage	S/O	±20 ppm	±20 ppm	±20 ppm
Production de gigue	Tableau A.2/G.8251	Tableau A.2/G.8251	Tableau A.2/G.8251	Tableau A.3/G.8251
Production de dérapage	S/O	S/O (Note 1)	S/O	S/O (Note 2)

**Tableau A.1/G.8251 – Récapitulation des types d'horloge ODUk (ODC)**

	<b>ODCa</b>	<b>ODCb</b>	<b>ODCr</b>	<b>ODCp</b>
Tolérance de gigue	S/O	Rec. UIT-T G.825	Tableau 2/G.8251, Figure 1/G.8251 (OTU1); Tableau 3/G.8251, Figure 2/G.8251 (OTU2); Tableau 4/G.8251, Figure 3/G.8251 (OTU3)	Tableau 2/G.8251, Figure 1/G.8251 (OTU1); Tableau 3/G.8251, Figure 2/G.8251 (OTU2); Tableau 4/G.8251, Figure 3/G.8251 (OTU3)
Tolérance de dérapage	S/O	Rec. UIT-T G.825	Paragraphe 6.1/G.8251	Paragraphe 6.1/G.8251
Transfert de gigue	S/O	Largeur de bande maximale: ODU1: 1 kHz ODU2: 4 kHz ODU3: 16 kHz Crêtage maximal du gain: 0,1 dB pour ODU1, 2 et 3 (voir Tableau A.4/G.8251 et Figure A.1/G.8251)	Largeur de bande maximale: OTU1: 250 kHz OTU2: 1 000 kHz OTU3: 4 000 kHz Crêtage maximal du gain: 0,1 dB pour OTU1, 2 et 3 (voir Tableau A.5/G.8251 et Figure A.1/G.8251)	Largeur de bande maximale: 300 Hz Crêtage maximal du gain: 0,1 dB (voir § A.7.3/G.8251)
Sortie en cas de perte du signal d'entrée	AIS (CBRx client) OTUk: pas de variation brusque de trame Fréquence OTUk inchangée	Signal d'indication d'alarme AIS (signal CBRx client) OTUk: pas de variation brusque de trame Modification de la fréquence initiale OTUk ≤ 9 ppm	AIS (OTUk) OTUk: variation brusque de trame admise Décalage de fréquence OTUk temporaire > 20 ppm admis	Signal d'indication d'alarme AIS (signal CBRx client), signal d'indication d'alarme AIS (signal ODUj/[i] client) Décalage de fréquence ≤ 20 ppm

S/O Pas de spécification (sans objet)

NOTE 1 – La production de dérapage de l'horloge ODCb est censée être négligeable par comparaison au dérapage du signal client d'entrée à débit binaire constant (par exemple, SDH), parce que la largeur de bande de l'horloge ODCb est relativement large.

NOTE 2 – La production intrinsèque de dérapage de l'horloge ODCp est négligeable par comparaison au dérapage produit par le processus de démappage.

- c) *Remplacer la Note à la fin du § A.1 par le texte suivant, pour tenir compte du fait qu'un multiplexage ODUk est maintenant possible:*

NOTE – Dans le cas d'un mappage ou d'un multiplexage asynchrones, une horloge principale unique n'est pas obligatoire (par exemple, une seule horloge ODCa) dans l'équipement du réseau de transport optique. En effet, cet équipement peut être muni de plusieurs horloges ODCa indépendantes, pour chaque longueur d'onde de signal de sortie (par exemple pour la source de chaque OCh, OTUk, et ODUk). En cas de mappage bit synchrone, de régénération 3R et de démappage, il ne peut y avoir une horloge principale unique pour plusieurs OCh (autrement dit, une horloge ODCb, ODCr ou ODCp fournit des signaux de rythme respectivement à une seule unité ODUk, OTUk ou à un client à débit binaire constant).

### **2.3) Paragraphe A.2 (Applications)**

- a) *Remplacer les alinéas 1 et 2 par le texte suivant, pour tenir compte du fait que, maintenant, les horloges ODCa et ODCp peuvent respectivement servir également au multiplexage et au démultiplexage d'unités ODUk:*

Les horloges ODCa et ODCb servent au mappage de la charge utile du signal ODUk; l'horloge ODCr sert à la régénération 3R; l'horloge ODCp est utilisée dans le démappeur à débit binaire constant et le démultiplexeur ODU[i]j.

L'horloge ODCa, utilisée pour le mappage asynchrone et le multiplexage ODU[i]j, est en fonctionnement libre et le décalage de débit binaire est compensé par un bourrage approprié. L'horloge ODCa sert également d'horloge pour le signal d'indication d'alarme AIS et le signal de connexion ouverte OCI.

- b) *Remplacer l'alinéa 5 par le texte suivant, pour tenir compte du fait que l'horloge ODCp peut maintenant servir également au démultiplexage du signal ODUk:*

L'horloge ODCp, utilisée pour le démappeur à débit binaire constant et le démultiplexeur ODU[i]j, est verrouillée sur le débit binaire du signal d'horloge "à espacements" (ou "lacunaire") OPUk (c'est-à-dire le rythme du signal résultant de l'acheminement de la charge utile OPUk, après exécution de la commande de justification). En cas de défaillance du signal d'entrée, l'horloge ODCp passe en mode de fonctionnement libre.

### **2.4) Paragraphe A.5.1.2 (Production de gigue des horloges ODCp)**

- a) *Remplacer le premier alinéa par le texte suivant, afin de tenir compte du fait que l'horloge ODCp peut maintenant servir également au démultiplexage du signal ODUk:*

En l'absence de gigue du signal d'entrée, la gigue du signal de sortie d'horloge ODCp, c'est-à-dire le signal CBR/RS\_CI\_CK ou le signal ODUj[i], ne doit pas dépasser les valeurs spécifiées au Tableau A.3/G.8251 lorsque la mesure est réalisée sur un intervalle de 60 secondes avec les filtres de mesure spécifiés dans ce tableau. Il est à noter que le signal de sortie est appliqué à l'interface CBRx/RSn\_CP ou ODUj[i]\_CP. Les prescriptions doivent être observées lorsque la fréquence d'entrée du client CBRx ou ODUj[i], STM-N est constante à  $\pm 20$  ppm autour de la fréquence nominale.

NOTE – Les interfaces CBR\_CP et ODUk[i]\_CP sont intérieures à un élément de réseau et ne sont donc pas généralement accessibles pour procéder à des essais. L'observation de cette prescription peut être vérifiée en modifiant la fréquence du signal d'entrée client au niveau de l'interface OS\_CP ou OCh\_CP qui doit être constante à  $\pm 20$  ppm autour de la fréquence nominale et en vérifiant que, dans le cas d'un signal d'entrée exempt de gigue, la gigue du signal de sortie client démappée de l'horloge ODCp est conforme aux limites spécifiées au Tableau A.3/G.8251.

b) Remplacer le Tableau A.3/G.8251 par le tableau suivant, destiné à tenir compte du fait que:

- 1) les prescriptions en matière de démultiplexage du signal ODU1 à partir de ODU2 ou ODU3 sont identiques à celles qui concernent le démappage de CBR2G5 à partir de ODU1;
- 2) les prescriptions concernant le démultiplexage du signal ODU2 à partir de ODU3 sont identiques à celles concernant le démappage de CBR10G à partir de ODU2:

**Tableau A.3/G.8251 – Prescriptions de production de gigue d'horloge ODCp**

Interface	Largeur de bande du filtre de mesure, fréquences à -3 dB (Hz)	Amplitude crête à crête (UIpp) (Note 2)
CBR2G5 ODU1	5 k à 20 M	1,0
	1 M à 20 M	0,1
CBR10G ODU2	20 k à 80 M	1,0
	4 M à 80 M	0,1
CBR40G	80 k à 320 M (Note 1)	1,0
	16 M à 320 M	0,1

NOTE 1 – Les valeurs concernant l'interface STM-256 sont provisoires et ne figurent pas dans la Rec. UIT-T G.825 au moment de la publication de la Rec. UIT-T G.8251.

NOTE 2 – CBR2G5  $1 \text{ UI} = \frac{1}{2,48832} \text{ [ns]} = 401,9 \text{ ps}$

CBR10G  $1 \text{ UI} = \frac{1}{9,95328} \text{ [ns]} = 100,5 \text{ ps}$

CBR40G  $1 \text{ UI} = \frac{1}{39,81312} \text{ [ns]} = 25,12 \text{ ps}$

ODU1  $1 \text{ UI} = \frac{238}{(239)(2,48832)} \text{ [ns]} = 400,2 \text{ ps}$

ODU2  $1 \text{ UI} = \frac{237}{(239)(9,95328)} \text{ [ns]} = 99,63 \text{ ps}$

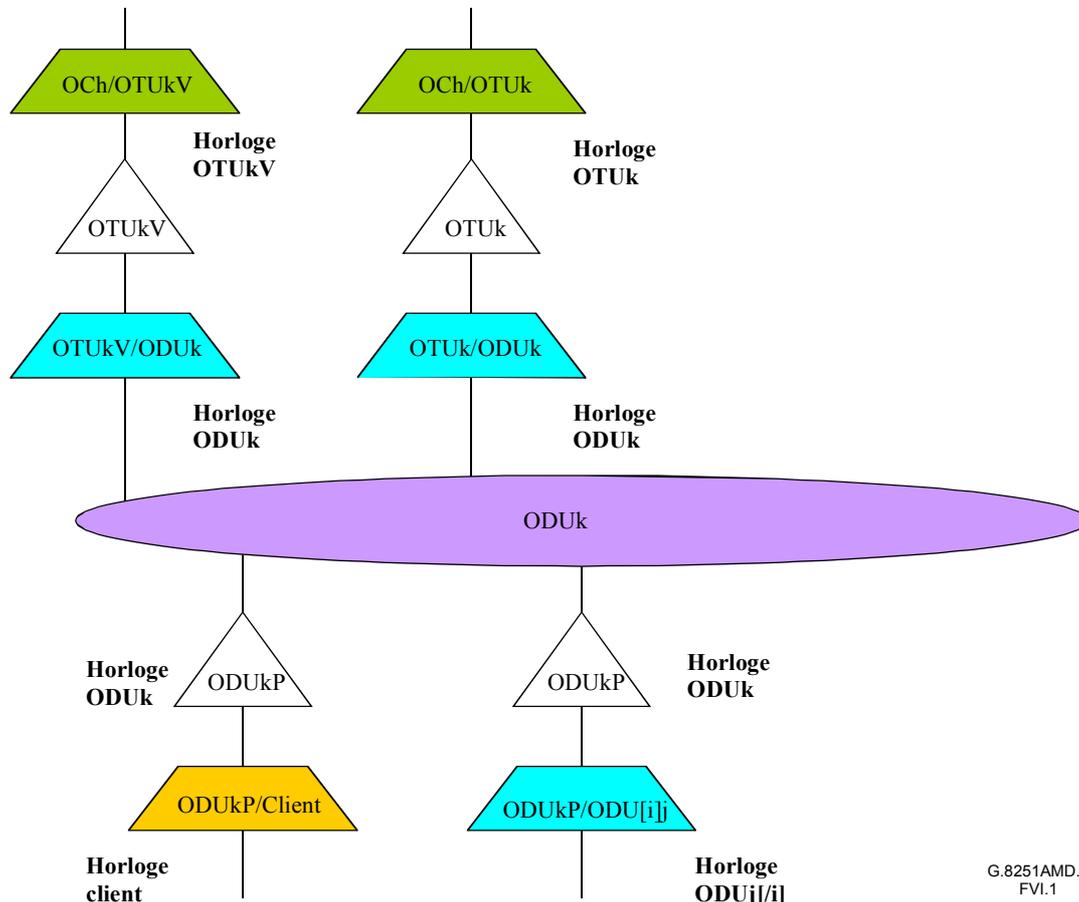
## 2.5) Paragraphe A.7.3 (Transfert de gigue des horloges ODCp)

Remplacer le premier alinéa par le texte suivant, afin de tenir compte du fait que l'horloge ODCp peut maintenant servir également au démultiplexage d'unité ODUk:

Les prescriptions de transfert de gigue relatives aux horloges ODCp sont essentiellement identiques aux prescriptions de transfert concernant un démappeur (c'est-à-dire un désynchroniseur) à débit binaire constant (c'est-à-dire SDH) ou un démultiplexeur ODU[i]j. La fonction de démappage, y compris l'horloge ODCp, est contenue dans les fonctions atomiques ODUkP/CBRx\_A\_Sk et ODUkP/Rsn\_A\_Sk. Les fonctions de démultiplexage, notamment l'horloge ODCp, sont contenues dans la fonction atomique ODUkP/ODU[i]j\_A\_Sk. L'horloge ODCp effectue le filtrage nécessaire pour éviter l'accumulation de gigue et de dérapage de mappage/démappage sur plusieurs îlots du réseau de transport optique.

## 2.6) Appendice VI (Fonctions atomiques de réseau OTN)

Remplacer la Figure VI.1/G.8251 par la figure ci-dessous, pour y faire figurer les nouvelles fonctions atomiques nécessaires au multiplexage des unités ODUk, et aussi pour mentionner plus simplement toutes les fonctions atomiques du Tableau A.1/G.8251. Remplacer les descriptions de fonctions atomiques de la Rec. UIT-T G.8251 par les descriptions ci-dessous, qui incluent les nouvelles fonctions atomiques correspondant au multiplexage d'unités ODUk et qui sont par ailleurs compatibles avec la figure simplifiée.



**Figure VI.1/G.8251 – Fonctions atomiques utilisées pour la synchronisation des réseaux OTN**

**OCh/OTUk\_A\_Sk**: récupération de la base de temps pour l'horloge OTUk.

**OTUk/ODUk\_A\_Sk**: produit un signal d'horloge ODUk provenant d'une horloge OTUk (rapport 239:255). En cas de défaillance OTUk, notamment de défaillance de signal, il y a production d'un signal d'indication d'alarme AIS généré par une horloge AIS. L'horloge ODUk doit observer les limites prescrites, même en cas de perte de signal.

**OTUk/ODUk\_A\_So**: produit un signal d'horloge OTUk provenant d'une horloge ODUk (rapport 255:239). Puisque le signal ODUk est toujours disponible, aucune horloge AIS n'est nécessaire. L'horloge OTUk n'est pas affectée par une commutation entre plusieurs signaux ODUk dont les phases et les fréquences d'horloge sont différentes.

**OCh/OTUkV\_A\_Sk**: récupération de la base de temps pour l'horloge OTUkV.

**OTUkV/ODUk\_A\_Sk**: produit un signal d'horloge ODUk, soit avec un rapport fixe (mappage synchrone), soit d'après l'horloge et le bourrage OTUkV (mappage asynchrone).

**OTUkV/ODUk\_A\_So**: produit un signal d'horloge ODUkV, soit à partir de l'horloge ODUk avec un rapport fixe (mappage synchrone), soit en fonctionnement libre (mappage asynchrone) avec bourrage du signal d'horloge ODUk dans l'horloge OTUk.

**ODUkP/Client\_A\_So**: produit un signal d'horloge ODUk, soit en fonctionnement libre (mappage asynchrone) avec bourrage du signal client dans le signal ODUk si nécessaire, soit à partir de l'horloge client avec un rapport fixe (mappage synchrone).

**ODUkP/Client\_A\_Sk**: produit un signal d'horloge client, obtenu d'après l'horloge ODUk et en fonction des décisions de bourrage éventuellement applicables.

**ODUk\_C**: produit un signal d'horloge ODUk en fonctionnement libre pour indication OCI.

**ODUkP/ODU[i]j\_A\_So**: produit un signal d'horloge ODUk en fonctionnement libre. Bourrage de ODUj[I] dans ODUk.

**ODUkP/ODU[i]j\_A\_Sk**: produit un signal d'horloge ODUj[I], à partir d'une horloge ODUk et d'une décision de bourrage. Horloge de signal AIS suite à défaillance de signal entrant.

## 2.7) Nouveaux Appendices VII et VIII

*Ajouter le nouvel Appendice VII qui décrit les deux modèles théoriques de référence (HRM, hypothetical reference model) utilisés dans le cadre des études d'accumulation de gigue de la charge utile et de dérapage à court terme (TDEV, short-term wander), applicables au multiplexage d'unités ODUk. Ajouter le nouvel Appendice VIII consacré aux études d'accumulation de gigue et de dérapage à court terme.*

## Appendice VII

### Modèles théoriques de référence relatifs à l'accumulation de gigue et de dérapage à court terme de charge utile CBRx et ODUj[i]

#### VII.1 Généralités

Le présent appendice décrit le modèle théorique de référence (HRM) utilisé pour définir les prescriptions de transfert de gigue d'horloge ODCp (désynchroniseur) énoncées au § A.7.3, ainsi que les prescriptions de production de gigue des horloges ODCp au § A.5.1.2. Ces prescriptions, conjointement avec le modèle théorique de référence, sont compatibles avec les limites de gigue de réseau de charge utile CBRx et les prescriptions de tolérance de gigue énoncées par les exigences applicables aux signaux SDH dans la Rec. UIT-T G.825; elles sont par ailleurs compatibles avec les limites de gigue de réseau et les prescriptions de tolérance de gigue pour charge utile ODUj[i], énoncées par les exigences concernant les signaux OTUk dans les § 5.1/G.8251 et 6.1.1/G.8251 (et les paragraphes correspondants). En outre, ces prescriptions sont compatibles avec les prescriptions TDEV de dérapage à court terme de la charge utile CBRx liées aux masques TDEV des options 1 et 2 dans la Rec. UIT-T G.813 (voir Figure 6/G.813, Tolérance et dérapage d'entrée (TDEV) pour l'option 1, et Figure I.1/G.813, Limite de réseau de synchronisation afin de maintenir les caractéristiques de taux de glissement à 1544 kbit/s définies dans la Rec. UIT-T G.822, respectivement). L'exposé détaillé des études d'accumulation de gigue de charge utile et de dérapage à court terme (écart temporel), à l'origine des prescriptions ci-dessus et des modèles théoriques de référence, figure à l'Appendice VIII.

L'Appendice II/G.8251 décrit un modèle théorique de référence relatif au transport de synchronisation sur le réseau OTN via des clients SDH. Ce modèle contient au total 100 éléments de réseau OTN de mappage ou de multiplexage (et pour chaque élément de réseau de mappage ou

de multiplexage, il existe un élément correspondant de démappage ou de démultiplexage). L'exemple particulier de la Figure II.1/G.8251 représente dix "îlots OTN", chacun de ces îlots<sup>1</sup> étant constitué d'un élément de réseau de mappage/démappage et de neuf éléments de multiplexage/démultiplexage, séparés des îlots adjacents par une unité de synchronisation SSU. Toutefois, l'Appendice II est pris en compte uniquement dans le cadre de l'accumulation de dérapage à long terme, laquelle dépend principalement de la capacité totale de stockage tampon de l'ensemble des éléments de réseau OTN. En fait, la répartition des éléments de mappage/démappage ou de multiplexage/démultiplexage n'a pas d'importance du point de vue de l'accumulation de dérapage à long terme (tel qu'indiqué effectivement au § II.2) et dans le cas le plus défavorable, le nombre d'éléments de mappage/démappage ou de multiplexage/démultiplexage entre deux unités SSU ou deux horloges SEC voisines peut atteindre 100. L'accumulation totale de dérapage à long terme est limitée par la capacité totale de mémoire tampon de mappage ou de multiplexage de 100 éléments de réseau (indépendamment de leur emplacement dans le modèle théorique de référence). Cette considération a été à l'origine des exigences quant à l'hystérésis maximale de la mémoire tampon indiquées au § II.5/G.8251 et spécifiées dans la Rec. UIT-T G.798.

Tandis que l'accumulation de dérapage à long terme peut être limitée par la capacité totale de stockage en mémoire tampon de l'ensemble des éléments de réseau, l'accumulation de gigue et l'accumulation de dérapage à court terme sont en fait beaucoup plus étroitement dépendantes de la répartition des éléments de mappage/démappage ou de multiplexage/démultiplexage dans le modèle théorique de référence. S'il n'y a aucun multiplexage d'unités ODUk, c'est-à-dire lorsqu'il y a uniquement mappage et démappage d'une charge utile CBRx, alors l'hypothèse la plus défavorable consiste à supposer 100 opérations de mappage/démappage entre des horloges d'équipement SEC ou des unités SSU ou adjacentes. En présence de multiplexage d'unités ODUk, alors le cas le plus défavorable est encore celui dans lequel 100 opérations de mappage/démappage ou de multiplexage/démultiplexage interviennent entre des horloges SEC ou des unités SSU adjacentes; dans cette hypothèse, il faut alors prendre également en considération les nombres comparés et la disposition des mappages CBRx vers ODU1, comme des multiplexages ODU1 vers ODU2 et ODU2 vers ODU3.

Deux modèles théoriques de référence ont été élaborés pour les études d'accumulation de gigue et de dérapage à court terme présentées à l'Appendice VIII/G8251. Ces modèles, intitulés respectivement *HRM 1* et *HRM 2*, sont les suivants:

**HRM 1:** (CBR2G5→ODU1→CBR2G5) + (33 cascades identiques CBR2G5→ODU1→ODU2→ODU3→ODU2→ODU1→CBR2G5).

**HRM 2:** (33 CBR2G5→ODU1→ CBR2G5) + [CBR2G5→ODU1+ (33 ODU1→ODU2→ODU1) + {ODU1→ODU2 + (33 ODU2→ODU3→ODU2) + ODU2→ODU1} + ODU1→ CBR2G5]

Ces modèles théoriques de référence ont été choisis pour:

- 1) délimiter les types de scénario qui interviennent concrètement en matière de répartition des niveaux élevés de multiplexage ODUk à l'intérieur des îlots OTN;
- 2) délimiter l'accumulation de gigue de dérapage à court terme qui se produit dans un réseau d'îlots OTN.

Les modèles en question sont censés constituer des scénarios de délimitation, et non représenter des configurations de réseau réelles qui seront observées dans la pratique. Le modèle HRM 1 correspond à un cas extrême dans lequel les niveaux plus élevés de multiplexage d'unités ODUk (îlots ODUk de niveau supérieur) sont répartis uniformément parmi les îlots ODUk de niveau inférieur. Dans le modèle HRM 1, chaque îlot ODU1 (îlot OTN dans lequel CBR2G5 est mappé

---

<sup>1</sup> Le terme "îlot" n'est pas utilisé au sens habituel, puisqu'il s'agit en l'occurrence d'une simple paire d'éléments mappeur/démappeur ou multiplexeur/démultiplexeur.

dans ODU1), à l'exception du premier, contient exactement un îlot ODU2 (îlot dans lequel ODU1 est multiplexé dans ODU2) et chaque îlot ODU2 contient exactement un îlot ODU3 (îlot OTN dans lequel ODU2 est multiplexé dans ODU3). Le modèle HRM 2 correspond à l'autre situation extrême, dans laquelle les niveaux supérieurs de multiplexage ODU<sub>k</sub> sont concentrés sur l'un des îlots ODU<sub>k</sub> de niveau inférieur. Dans le modèle HRM 2, tous les îlots ODU2 sont concentrés dans le dernier îlot ODU1 et tous les îlots ODU3 sont concentrés dans le dernier îlot ODU2.

D'après les résultats représentés dans l'Appendice VIII/G.8251, ces deux modèles théoriques de référence délimitent l'accumulation de gigue et l'accumulation de dérapage à court terme observées dans un réseau d'îlots OTN, tant sur les charges utiles CBR<sub>x</sub> que sur les charges utiles ODU<sub>j</sub>[/i].

## Appendice VIII

### Etude de l'accumulation de gigue et de dérapage à court terme de charge utile CBR<sub>x</sub> et ODU<sub>j</sub>[/i]

#### VIII.1 Introduction

Le présent appendice présente en détail les études consacrées à l'accumulation de gigue et de dérapage à court terme de charge utile CBR<sub>x</sub> et ODU<sub>j</sub>[/i] sur lesquelles s'appuient les prescriptions en matière de transfert de gigue ODC<sub>p</sub> énoncées au § A.7.3 et le modèle théorique de référence de l'Appendice VII. Un modèle de simulation dans le domaine temporel de la gigue et du dérapage liés au mappage de la charge utile, ainsi que de la gigue et du dérapage imputables au multiplexage ODU<sub>k</sub>, a été mis au point. Les caractéristiques détaillées du modèle de simulation sont présentées au § VIII.2 tandis que les résultats des simulations de gigue et de dérapage à court terme figurent au § VIII.3. Ces études ne tiennent pas compte des effets des régénérateurs 3R éventuels situés entre le mappeur/multiplexeur et le démappeur/démultiplexeur. Cette gigue est à haute fréquence par comparaison à la largeur de bande maximale de l'horloge ODC<sub>p</sub> de 300 Hz; elle est donc facilement filtrée par l'horloge ODC<sub>p</sub>.

#### VIII.2 Modèle de simulation

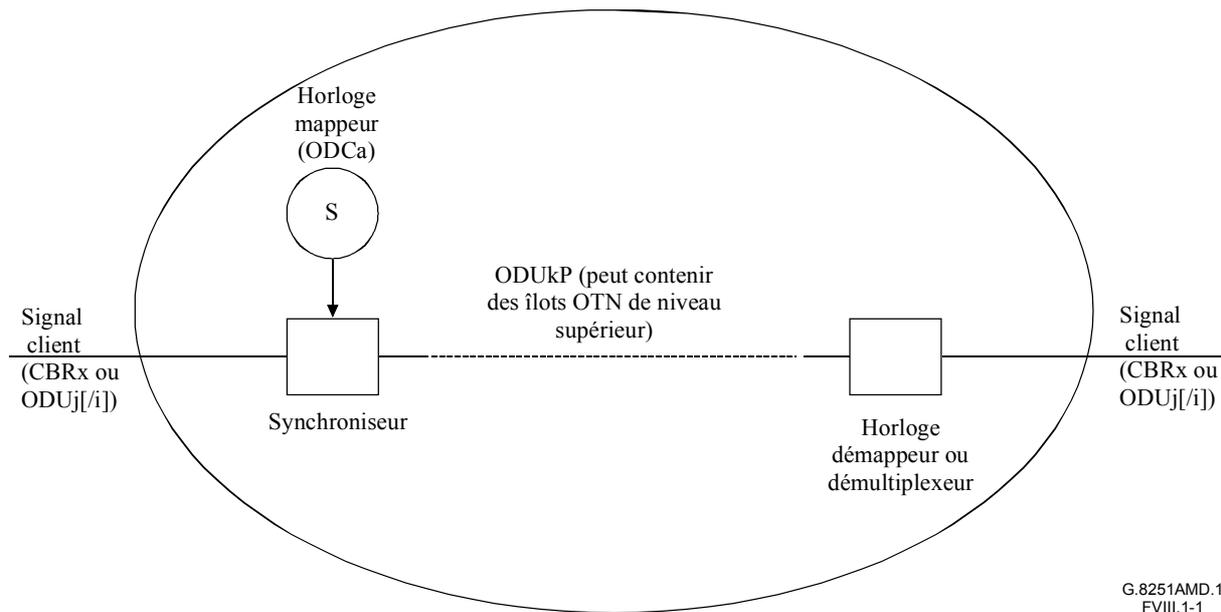
Un modèle de simulation dans le domaine temporel a été mis au point afin d'évaluer la phase et l'accumulation de gigue sur un réseau d'îlots OTN. Le terme *îlot OTN* désigne un mappage d'un signal client CBR<sub>x</sub> ou ODU<sub>j</sub>[/i] dans une unité ODU<sub>k</sub>P, le transport de l'unité ODU<sub>k</sub>P avec multiplexage mutuel éventuel vers une unité ODU<sub>m</sub> ( $m > k$ ) et le démultiplexage et démappage ultérieur du signal client, à partir de l'unité ODU<sub>k</sub>P, au moyen d'un désynchroniseur ou d'un démultiplexeur dont la largeur de bande et le crêtage de gain sont spécifiés. Tel qu'indiqué dans l'introduction, l'incidence des régénérateurs 3R n'est pas prise en compte, en raison de la fréquence élevée de la gigue qu'ils produisent, et dont l'horloge ODC<sub>p</sub> assure aisément le filtrage. On suppose la possibilité de répéter un certain nombre de fois cette opération; autrement dit, il peut y avoir plusieurs îlots OTN. De plus, le fonctionnement est récursif dans la mesure où un îlot OTN donné peut contenir plusieurs îlots OTN de niveau supérieur. La Figure VIII.1-1 représente schématiquement le modèle<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> Il convient de signaler que l'expression *îlot OTN* n'est pas utilisée ici dans le même sens qu'aux Appendices II et VII. Dans le cas présent, un îlot est censé constituer un et un seul couple d'éléments mappeur/démappeur ou multiplexeur/démultiplexeur; un îlot peut donc contenir un ou plusieurs îlots de niveau supérieur. Dans les Appendices II et VII, un îlot OTN est constitué du couple mappeur/démappeur CBR<sub>x</sub> et de tous les couples d'éléments de multiplexage/démultiplexage situés entre le mappeur et le démappeur.

Les paragraphes suivants correspondent aux différentes composantes du modèle. Notamment:

- filtre de mesure de gigue passe-haut de premier ordre;
- filtre de second ordre avec crêtage de gain et atténuation progressive de 20 dB par décade (dans le démappeur (désynchroniseur) et le démultiplexeur);
- schéma de justification par octets +1/0/-1 pour le mappeur CBR<sub>x</sub> ou schéma de justification par octets +2/+1/0/-1 pour le mappeur ODU<sub>j</sub>[/i], avec le cas échéant opportunités de justification inégalement espacées en cas de multiplexage ODU2 dans ODU3;
- modèle général (combinaison de mappeur et de démappeur et accumulation sur des îlots multiples ou sur plusieurs îlots).



NOTE – Cet îlot OTN peut contenir un ou plusieurs îlots OTN de niveau plus élevé.

**Figure VIII.1-1/G.8251 – Schéma du modèle associé à 1 îlot OTN**

### VIII.2.1 Filtre de mesure de gigue passe-haut de premier ordre

Ce modèle est nécessaire à l'évaluation de la gigue accumulée dans le signal client à la sortie d'un îlot OTN. Le signal d'entrée du filtre est la phase client accumulée jusqu'à ce point; la gigue constitue le signal de sortie. Le filtre est généralement un filtre passe-haut de premier ordre dont la largeur de bande à 3 dB dépend du signal client en particulier. Pour des signaux client à débit CBR<sub>x</sub>, le filtre de mesure de la gigue est spécifié au Tableau 1/G.825; pour les signaux clients ODU<sub>j</sub>[/i], le filtre de mesure de la gigue est spécifié au Tableau 1/G.8251. En fait, le filtre de mesure de la gigue est un filtre passe-bande dont les fréquences de coupure, tant supérieure (filtre passe-bas) qu'inférieure (filtre passe-haut), dépendent du débit particulier considéré (et augmentent en fonction du débit)<sup>3</sup>. Toutefois, les filtres passe-bas de mesure de la gigue présentent des fréquences de coupure de 20 MHz, 80 MHz et 320 MHz correspondant respectivement à des débits de signaux client de 2,5, 10 et 40 Gbit/s. En fin de compte ces fréquences correspondent à des

<sup>3</sup> De plus, la partie passe-bas du filtre de mesure de la gigue présente une pente de 60 dB par décade et un palier dans sa plus grande partie (filtre Butterworth).

constantes de temps peu élevées par comparaison à l'intervalle de temps de la simulation. Par conséquent, il est inutile de modéliser la partie passe-bas du filtre de mesure de la gigue. La partie passe-haut du filtre de mesure de la gigue dépend du fait que l'on simule ou non la gigue large bande ou la gigue haute bande. Le modèle de filtre passe-haut du premier ordre s'applique aux deux cas dans la mesure où la largeur de bande appropriée est spécifiée.

La fonction de transfert dans le cas d'un filtre passe-haut du premier ordre est la suivante:

$$H(s) = \frac{s}{s+a} = 1 - \frac{a}{s+a} \quad (\text{VIII-1})$$

avec  $a = 2\pi f_0$  et  $f_0$  fréquence de coupure à 3 dB du filtre. Il est possible d'établir un modèle en temps discret en définissant tout d'abord un modèle de filtre passe-bas représenté par le terme  $a/(s+a)$  dans la relation (VIII-1), puis en déduisant le résultat du signal d'entrée. Une équation différentielle linéaire du premier ordre correspondant au filtre passe-bas s'écrit comme suit:

$$\frac{dy}{dt} + ay(t) = au(t) \quad (\text{VIII-2})$$

avec  $y(t)$  sortie du filtre et  $u(t)$  entrée du filtre. A présent, soit  $T$  la durée de l'intervalle temporel dans l'implémentation numérique de ce filtre, avec  $t=0$  et  $t=T$  début et fin respectifs dudit intervalle. Alors il est possible de transformer la relation ci-dessus sous une forme en temps discret en multipliant les deux membres par le facteur d'intégration  $e^{at}$  et en calculant l'intégrale de 0 à  $T$ . Le résultat est le suivant:

$$e^{aT} y(T) - y(0) = \int_0^T a e^{at} u(t) dt \quad (\text{VIII-3})$$

Enfin, supposons que le signal d'entrée  $u(t)$  puisse être modélisé sous la forme d'une constante égale à  $u(0)$  sur l'intervalle de temps 0 à  $T$ . On a alors

$$y(T) = e^{-aT} y(0) + (1 - e^{-aT}) u(0) \quad (\text{VIII-4})$$

L'équation (VIII-4) exprimant un modèle en temps discret du filtre passe-bas représenté par le terme  $a/(s+a)$  de l'équation (VIII-1). On obtient un modèle en temps discret pour le filtre passe-haut en soustrayant l'équation (VIII-4) de  $u(0)$ . Le résultat est le suivant:

$$y(T) = -e^{-aT} y(0) + e^{-aT} u(0) \quad (\text{VIII-5})$$

L'équation (VIII-5) définit le modèle en temps discret correspondant au filtre passe-haut de mesure de la gigue.

### VIII.2.2 Filtre passe-bas du second ordre avec crêtage de gain et pente inclinée à 20 dB par décade

Cette modélisation est nécessaire dans le cas du démappeur CBRx (désynchroniseur) et du démultiplexeur ODUj[i]. La fonction de transfert relative à un filtre passe-bas du second ordre à pente inclinée à 20 dB par décade s'exprime comme suit:

$$H(s) = \frac{2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (\text{VIII-6})$$

avec  $\omega_n$  fréquence naturelle non amortie et  $\zeta$  le rapport d'amortissement. Dans les cas considérés,  $\zeta > 1$ , autrement dit le système est sur-amorti. Le rapport d'amortissement est lié au crêtage de gain par l'équation (voir équation (IV.2-31) de la Rec. UIT-T G.8251):

$$H_p \approx 1 + \frac{1}{4\zeta^2} \quad (\text{VIII-7})$$

avec  $H_p$  crête de gain exprimé sous forme de gain pur (le crête de gain exprimé en dB est de  $20 \log_{10} H_p$ ). Le rapport d'amortissement et la fréquence naturelle non amortie sont liés à la largeur de bande à 3 dB par l'équation (voir équation (IV.2-30) de la Rec. UIT-T G.8251):

$$f_{3dB} = \frac{\omega_n}{2\pi} \left[ 2\zeta^2 + 1 + \sqrt{(2\zeta^2 + 1)^2 + 1} \right]^{1/2} \quad (\text{VIII-8})$$

avec  $f_{3dB}$  la largeur de bande à 3 dB en Hz. Les équations (VIII-7) et (VIII-8) permettent de déterminer le rapport d'amortissement et la fréquence naturelle non amortie à partir des valeurs respectives de la largeur de bande à 3 dB et du crête de gain.

L'équation (VIII-6) équivaut à l'équation différentielle linéaire du second ordre ci-dessous:

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + 2\zeta\omega_n \frac{dy}{dt} + \omega_n^2 y(t) = 2\zeta\omega_n \frac{du}{dt} + \omega_n^2 u(t) \quad (\text{VIII-9})$$

avec, comme au paragraphe précédent,  $y(t)$  signal de sortie du filtre et  $u(t)$  signal d'entrée du filtre. L'équation (VIII-9) peut être transformée en modèle en temps discret en faisant appel à la méthode classique de la variable d'état (voir [1]). Considérons une équation du second ordre, dont le membre de gauche est identique à celui de l'équation (VIII-9), mais dont le membre de droite est égal au signal d'entrée  $u(t)$ . Dans cette équation, définissons les variables d'état  $x_1$  solution de cette équation et  $x_2$  dérivée de cette même solution. La solution  $y(t)$  de l'équation (VIII-9) est facile à obtenir en tant que combinaison linéaire de  $x_1$  et de  $x_2$  en raison du caractère linéaire de l'équation (VIII-9). Les équations ainsi obtenues, écrites en notation matricielle standard, sont les suivantes:

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{x}} &= \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}u \\ y &= \mathbf{C}\mathbf{x} \end{aligned} \quad (\text{VIII-10})$$

avec:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\omega_n^2 & -2\zeta\omega_n \end{bmatrix} \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad \mathbf{C} = \begin{bmatrix} \omega_n^2 & 2\zeta\omega_n \end{bmatrix}$$

Ainsi, l'obtention d'un modèle en temps discret à partir de l'équation (VIII-6) équivaut à celle d'un modèle en temps discret pour la première des équations (VIII-10); la solution  $y$  est facile à obtenir à partir de l'état  $\mathbf{x}$ , à un échelon de temps donné, au moyen de la deuxième équation (VIII-10).

La solution  $\mathbf{x}(t)$  de la première équation (VIII-10) peut être trouvée comme celle de l'équation correspondante du premier ordre (VIII-3). Toutefois, le facteur d'intégration est maintenant une exponentielle de matrice  $e^{\mathbf{A}t}$ . L'exponentielle de matrice est définie au moyen de la représentation habituelle de  $e^x$  sous la forme d'une série entière, et sa convergence peut être établie pour toutes les matrices dont les éléments sont des nombres complexes (et donc pour tous les systèmes considérés dans le cas présent)<sup>4</sup>. Le résultat, lorsque l'intégration s'effectue comme ci-dessus de 0 à  $T$  avec  $T$  intervalle de temps de la simulation, est le suivant

$$\mathbf{x}(T) = e^{\mathbf{A}T} \mathbf{x}(0) + \int_0^T e^{\mathbf{A}(T-t)} \mathbf{B}u(t) dt \quad (\text{VIII-11})$$

A ce stade, le calcul diffère de celui effectué dans la modélisation du premier ordre, dans la mesure où il faut évaluer de façon approchée le signal d'entrée  $u(t)$  sous la forme d'une expression du premier ordre en  $t$ , pour pouvoir calculer l'intégrale du membre de droite de l'équation (VIII-11), et non sous la forme d'une expression d'ordre zéro comme cela a été le cas lors du passage de l'équation (VIII-3) à l'équation (VIII-4). En effet, le signal d'entrée du filtre de désynchronisation est

<sup>4</sup> La démonstration de ce résultat est particulièrement simple dans le cas où la matrice  $\mathbf{A}$  est diagonalisable.

généralement une fonction "irrégulière" en dents de scie, à l'ordre le plus bas, si l'on néglige le bruit de l'horloge et du régénérateur, qui s'apparente à une fonction linéaire du temps et dont les sauts correspondent aux bits de bourrage. Puisque l'on cherche à utiliser en définitive un intervalle de temps correspondant au laps de temps écoulé entre les opportunités de bourrage ou, au moins, d'une durée supérieure ou égale (de façon à ce que les temps d'exécution soient adéquats), il faut procéder à un calcul linéaire approché de l'intégrale pour représenter correctement la phase non filtrée (signal d'entrée du filtre de désynchronisation). Il convient de noter que l'on pourrait théoriquement utiliser des solutions approchées d'ordre plus élevé (la solution approchée de type linéaire correspond essentiellement à un profil trapézoïdal).

L'interpolation linéaire du signal d'entrée  $u(t)$  entre 0 et  $T$  est donnée par la formule:

$$u(t) \approx u(0) + \frac{u(T) - u(0)}{T} t \quad (\text{VIII-12})$$

Si l'on introduit l'équation (VIII-12) dans l'équation (VIII-11) et après intégration [compte tenu de la possibilité d'intégrer les fonctions exponentielles de matrice comme des fonctions exponentielles ordinaires, à condition de préserver l'ordre des matrices non commutatives (dans ce cas  $\mathbf{A}$  et  $\mathbf{B}$ )], cela donne alors:

$$\mathbf{x}(t) = e^{\mathbf{A}T} \mathbf{x}(0) + (e^{\mathbf{A}T} - \mathbf{I}) \mathbf{A}^{-1} \mathbf{B} u(0) + (e^{\mathbf{A}T} - \mathbf{I}) \mathbf{A}^{-2} \mathbf{B} \frac{u(T) - u(0)}{T} - [u(T) - u(0)] \mathbf{A}^{-1} \mathbf{B} \quad (\text{VIII-13})$$

avec  $\mathbf{I}$  matrice unité (matrice  $2 \times 2$ ). Il est à noter que les deux premiers termes du membre de droite de l'équation (VIII-13) correspondent au résultat d'une expression approchée d'ordre zéro du signal d'entrée; les deux derniers termes correspondent au terme linéaire de l'expression approchée.

Pour terminer la discrétisation de l'équation (VIII-10), il faut une expression explicite de l'exponentielle de matrice  $e^{\mathbf{A}t}$ . Il est possible d'obtenir cette expression en remarquant que la transformée de Laplace de  $e^{\mathbf{A}t}$  est donnée par:

$$\mathbf{L}(e^{\mathbf{A}t}) = (s\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \quad (\text{VIII-14})$$

avec  $\mathbf{L}$  désignant la transformée de Laplace. Il est alors possible d'évaluer l'exponentielle de matrice  $e^{\mathbf{A}t}$  en calculant l'inverse de la matrice  $s\mathbf{I} - \mathbf{A}$ , puis en évaluant l'inverse de la transformée de Laplace de chacun des éléments matriciels (on peut démontrer que la transformée de Laplace d'une fonction exponentielle de matrice est égale à la matrice des transformées de Laplace de chacun des éléments matriciels). Le résultat est le suivant:

$$e^{\mathbf{A}T} = \begin{bmatrix} e^{-aT} \cosh bT + \frac{a}{b} e^{-aT} \sinh bT & \frac{1}{b} e^{-aT} \sinh bT \\ -\frac{a^2 - b^2}{b} e^{-aT} \sinh bT & e^{-aT} \cosh bT - \frac{a}{b} e^{-aT} \sinh bT \end{bmatrix} \quad (\text{VIII-15})$$

avec:

$$\begin{aligned} a &= \zeta \omega_n \\ b &= \omega_n \sqrt{\zeta^2 - 1} \\ a^2 - b^2 &= \omega_n^2 \end{aligned} \quad (\text{VIII-16})$$

Le filtre à temps discret est donné par les équations (VIII-13), (VIII-15) et la deuxième équation (VIII-10). Etant donné l'état  $\mathbf{x}(0)$  et le signal d'entrée  $u(0)$  au début d'un intervalle de temps, les équations (VIII-13) et (VIII-15) permettent d'obtenir l'état  $\mathbf{x}(T)$  à la fin de l'intervalle. La deuxième équation (VIII-10) sert ensuite à obtenir le signal de sortie du filtre  $y(t)$ .

### VIII.2.3 Modélisation du mappeur/multiplexeur

Le mappeur ou le multiplexeur font respectivement l'objet d'une modélisation du schéma de justification (bourrage) par un octet +1/0/-1 ou +2/+1/0/-1. Afin de déterminer s'il faut une justification positive en présence d'une opportunité de justification, les bits de bourrage, ainsi que le nombre total de justifications jusqu'à ce stade, sont conservés (séparément pour le mappeur/multiplexeur de chaque îlot). Soit  $\phi_r(t)$  la phase horloge en lecture (exprimée en UI) à l'instant  $t$ ,  $\phi_w(t)$  la phase horloge en écriture (exprimée en UI) à l'instant  $t$ ,  $B(t)$  le bourrage du synchroniseur (en UI) à l'instant  $t$ ,  $B_0$  le bourrage initial (en UI) à l'instant 0,  $n_{stuff}(t)$  la somme algébrique des octets de justification jusqu'à l'instant  $t$  (l'instant  $t$  non compris) et enfin  $U$  le nombre d'intervalles unitaires dans un octet (c'est-à-dire 8), alors:

$$B(t) = \phi_w(t) - \phi_r(t) + B_0 + Un_{stuff}(t) \quad (\text{VIII-17})$$

Si  $B(t)$  dépasse dans le sens positif le seuil supérieur de bourrage du mappeur/multiplexeur, on effectue une justification négative<sup>5</sup>. Ainsi,  $n_{stuff}$  est décrémenté d'une unité. Inversement, si  $B(t)$  dépasse en sens inverse le seuil inférieur du tampon de mappage/multiplexage, une justification positive est réalisée. Dans ce cas,  $n_{stuff}$  est incrémenté d'une unité. Il est à noter que le calcul du signal de phase à l'entrée du désynchroniseur (présenté succinctement) utilise nécessairement la valeur de  $n_{stuff}$ .

La phase d'horloge en écriture est égale au signal de sortie de phase du précédent îlot assigné à ce niveau (c'est-à-dire si l'îlot actuel est un îlot ODUk, il s'agit du signal de phase de sortie du précédent îlot ODUk de la chaîne considérée) associé et à toute accumulation de gigue de cet îlot. La phase d'horloge en écriture pour le premier îlot de la chaîne considérée est égale à la phase du signal client à l'entrée de cet îlot. En cas de mesure de la phase par rapport au débit nominal du signal client  $f_0$  (en UI/s) appliqué à l'entrée, et si le signal client peut avoir un décalage en fréquence  $y_{client}$  (en ppm), alors la phase d'horloge en écriture concernant le premier îlot de la chaîne considérée est donnée par la formule:

$$\phi_{w, island\ 1}(t) = (1.0 \times 10^{-6}) U f_0 y_{client} t \quad (\text{VIII-18})$$

Le modèle de simulation permet, soit de fixer à l'entrée le décalage en fréquence du signal client, soit de le choisir de façon aléatoire dans une distribution de valeurs uniformes comprises entre  $\pm y_{client, max}$ , avec  $y_{client, max}$  fixé à l'entrée.

Le calcul de la phase d'horloge en lecture ne tient pas compte de l'en-tête fixe de couche serveur. En outre, en cas de multiplexage, le signal d'horloge en lecture désigne uniquement la partie de la charge utile du serveur disponible pour le client en question (et non la partie utilisée pour d'autres clients multiplexés avec celui-ci). Par conséquent, les débits nominaux réels client et serveur sont identiques. Toutefois, l'horloge serveur (horloge en lecture) peut avoir un décalage en fréquence  $y_{clock}$  par rapport à sa valeur nominale. Par conséquent, la phase d'horloge en lecture est donnée par:

$$\phi_{read}(t) = (1.0 \times 10^{-6}) f_0 y_{clock} t \quad (\text{VIII-19})$$

<sup>5</sup> En l'occurrence, la convention de signe utilisée est la suivante: pour la transmission d'un octet supplémentaire, lorsque  $B(t)$  dépasse le seuil supérieur, il s'agit d'une justification positive, et pour la transmission de moins d'un octet, lorsque  $B(t)$  est inférieur au seuil inférieur, il s'agit alors d'une justification positive.

Le signal d'entrée de phase non filtré du désynchroniseur est égal à la phase d'horloge en lecture augmentée de la phase due au multiplexage/démultiplexage éventuel du serveur appliqué aux signaux de niveau plus élevé, augmentée également de la phase imputable aux justifications d'octets:

$$\phi_{unfilt}(t) = \phi_{read}(t) - Un_{stuff}(t) + \phi_{mux/demux}(t) \quad (\text{VIII-20})$$

Il y a lieu de noter que le terme  $Un_{stuff}(t)$  qui tient compte des justifications figure dans les équations (VIII-17) et (VIII-20) avec le signe moins. En effet, une justification positive s'est traduite par un octet supplémentaire à la sortie et un octet en moins dans une mémoire tampon, et inversement dans le cas d'une justification négative.

La phase non filtrée donnée par l'équation (VIII-20) est appliquée à l'entrée du modèle de désynchroniseur. Il s'agit d'un filtre de second ordre avec crêtage de gain, tel qu'indiqué au paragraphe précédent. La question de l'intervalle de temps choisi pour ce modèle sera examinée succinctement.

Pour obtenir la phase imputable à un multiplexage/démultiplexage éventuel du serveur dans des signaux de niveau plus élevé ( $\phi_{mux/demux}$ ), considérons tout d'abord le cas simple d'un signal CBR2G5 mappé dans une trame ODU1, qui est ensuite multiplexé (mappé) dans une trame ODU2, alors multiplexé par la suite dans une trame ODU3. Au niveau du mappeur CBR2G5 vers ODU1, les décisions de bourrage sont établies d'après la différence entre l'horloge CBR2G5 et l'horloge du mappeur; ces décisions sont donc indépendantes d'une gigue éventuelle due aux mappages ODU1 vers ODU2 ou ODU2 vers ODU3. Au niveau du démappeur ODU1 vers CBR2G5, le signal d'horloge ODU1 récupéré inclut toute gigue imputable aux mappages ODU1 vers ODU2 et ODU2 vers ODU3; cette phase est ajoutée à la phase qui résulte des décisions de bourrage prises au niveau du mappeur CBR2G5 vers ODU1, et la somme obtenue est filtrée par le désynchroniseur CBR2G5. Ensuite, si l'on examine le signal d'horloge ODU récupéré au niveau du démappeur ODU1 vers CBR2G5, on peut affirmer de manière analogue que ce signal comporte une gigue due au processus de bourrage ODU1 vers ODU2, au niveau du mappeur ODU1 vers ODU2, augmentée de la gigue ODU2 éventuelle imputable au mappage dans ODU3. Ces deux processus sont filtrés par le désynchroniseur ODU2 vers ODU1 (démultiplexeur). Enfin, l'horloge récupérée ODU2 au niveau du démappeur ODU2 vers ODU1 comporte une gigue due au processus de bourrage ODU2 vers ODU3; ces bourrages sont filtrés par le désynchroniseur ODU3 vers ODU2.

Par conséquent, chaque niveau de multiplexage peut être traité indépendamment des niveaux sous-jacents (par exemple, le multiplexage ODU1 dans ODU2 est indépendant du multiplexage CBR2G5 dans ODU1). Le simulateur doit représenter l'ordre des opérations de multiplexage, c'est-à-dire la configuration des îlots (ce qui ne présente pas de difficulté lorsque l'on utilise le langage C par exemple). Dans un îlot quelconque, les décisions de bourrage sont prises sur la base de la différence de phase entre les horloges client et mappeur. La phase s'accumule à l'intérieur de l'îlot depuis le mappeur vers le démappeur, s'il y a un quelconque mappage/démappage de niveau supérieur. Cette phase est ajoutée à celle qui est imputable au bourrage effectué au niveau du démappeur, le total étant filtré par le désynchroniseur. L'ensemble du processus est réalisé à chaque niveau.

Puisque la simulation est implémentée en temps discret, il y a intérêt à ce que les opportunités de bourrage se présentent pour des nombres entiers d'intervalles de temps. Néanmoins, cette condition est d'autant plus difficile à vérifier que les opportunités de bourrage correspondant à différents niveaux de mappage ne se produisent pas en nombres entiers multiples les uns des autres. En effet, la durée de l'intervalle de trame ODU1/ODU1/OPU1 de 48,971  $\mu$ s (voir la Rec. UIT-T G.709/Y.1331), est à peu près 4 fois supérieure à celle de l'intervalle de trame OTU2/ODU2/OPU2 qui est de 12,191  $\mu$ s, elle-même sensiblement 4 fois supérieure à celle (3,035  $\mu$ s) de l'intervalle de trame OTU3/ODU3/OPU3. Le rapport entre ces intervalles de trame n'est pas exactement égal à 4, si l'on multiplexe 4 trames ODU $k$  dans une trame ODU $m$  ( $m = k+1$ ),

chaque trame ODU<sub>k</sub> comporte son propre en-tête OPU et ODU, et, en outre, la trame ODU<sub>m</sub> a son en-tête OPU et ODU. Néanmoins, l'élément important à prendre en compte dans le cas présent est l'incidence de la gigue du temps d'attente et du dérapage à court terme, autrement dit les bourrages variables imputables aux décisions de bourrage au niveau des mappeurs/multiplexeurs. L'incidence de l'en-tête fixe présente un moindre intérêt; de fait, il produit une variation de phase à haute fréquence aisément filtrable par les désynchroniseurs. Les différents processus de mappage à tous les niveaux peuvent être rapportés à une même base de temps, fondée sur l'intervalle de trame OTU1/ODU1/OPU1, en ne tenant pas compte de l'en-tête ODU et OPU (sauf pour les bourrages effectivement réalisés). Si l'on procède de cette façon, il suffit ensuite d'adapter la valeur maximale des décalages de fréquence positifs et négatifs (autrement dit le domaine de variation admissible des décalages de fréquence) pour les horloges de mappeur ODU1, ODU2 et ODU3, de manière à obtenir des valeurs correctes des domaines de variation des rapports de bourrage pour le mappage des trames CBRx dans ODU1, ODU1 dans ODU2 et ODU2 dans ODU3. Ces calculs sont réalisables au moyen des relations indiquées dans l'Appendice V/G.709/Y.1331 (Amendement 1) (Voir l'équation (V-3)/G.709/Y.1331).

Selon les calculs approchés ci-dessus, l'intervalle effectif de trame ODU2 dans le simulateur est ramené au quart de l'intervalle de trame ODU1. Un signal ODU1 multiplexé dans un ODU2 fait l'objet d'une opportunité de bourrage toutes les 4 trames ODU2, et le laps de temps entre les opportunités de bourrage selon ce processus est égal au laps de temps observé pour le mappage d'un signal CBR2G5 dans une trame ODU1 (à savoir l'intervalle de trame ODU1, soit 48,971 µs). De manière analogue, la valeur effective de l'intervalle de trame ODU3 est égale au quart de l'intervalle de trame effectif ODU2. Un signal ODU2 multiplexé dans un ODU3 donne lieu à 4 opportunités de bourrage toutes les 16 trames ODU3. Il faut donc choisir pour unité de temps de base dans le simulateur l'intervalle effectif de trame ODU3, c'est-à-dire  $1 = 1/16$  de l'intervalle de trame ODU1 soit  $(48,971)/(16) \mu s = 3,06069 \mu s$ . La simulation ne peut utiliser un intervalle de temps plus important, mais doit parfois utiliser un intervalle plus petit en présence de constantes de temps plus faibles de l'un quelconque des filtres (désynchroniseur ou filtres de mesure de la gigue). Si l'intervalle de temps doit être inférieur à l'intervalle effectif de trame ODU3, on choisit alors un sous-multiple entier de cet intervalle de trame. En particulier, l'intervalle de temps de la simulation est choisi de façon à constituer le sous-multiple plus important de l'intervalle de trame ODU3 effectif, sans dépasser toutefois 0,1 fois la plus petite constante de temps des filtres. Les bourrages utilisés pour le mappage des signaux CBR2G5 dans ODU1 et ODU1 dans ODU2 sont autorisés une fois tous les 16 intervalles de trame ODU3 de base ("effectifs"). Quant aux bourrages utilisés pour le mappage des signaux ODU2 dans ODU3, ils sont autorisés tous les 4 (sur 16) intervalles de base.

Pour le multiplexage des signaux ODU2 dans ODU3, les opportunités de bourrage ne sont pas nécessairement régulièrement espacées. La Rec. UIT-T G.709/Y.1331 présente une description détaillée des conditions de mappage. Lors du multiplexage d'un signal ODU2 dans un signal ODU3, le signal ODU2 a 4 opportunités de bourrage sur 16 dans les 16 trames ODU3 successives. Les 12 autres opportunités de bourrage sont attribuées aux autres signaux ODU1 et/ou ODU2 multiplexés. Toutefois, les quatre trames particulières attribuées à un signal ODU2 donné ne sont pas nécessairement régulièrement espacées et ne le seront pas selon toute vraisemblance s'il y a une possibilité de multiplexage ODU1 dans ODU3. En effet, le signal client ODU1 exige seulement une opportunité de bourrage toutes les 16 trames ODU3. Les connexions clients ODU1 et ODU2 ne seront pas nécessairement établies simultanément; aussi il n'y a aucune garantie, lorsqu'on souhaite utiliser une connexion ODU2 (et si la largeur de bande est disponible), que les quatre trames ODU3 dotées d'opportunités de bourrage soient également espacées. Il est essentiel que la largeur de bande soit utilisable en présence d'opportunités de bourrage inégalement espacées. Par conséquent, la modélisation de la possibilité d'opportunités de bourrage inégalement espacées consiste à associer à chaque îlot (mappeur) un tableau de longueur 16. Chaque élément du tableau indique si un bourrage est ou non autorisé pour cette trame ODU3 effective particulière, choisie dans chaque série de 16. Pour chaque îlot, le simulateur initialise au début de chaque exécution du programme les trames

ODU3 particulières (effectives) qui correspondent aux opportunités de bourrage. L'initialisation peut s'effectuer de l'une des trois façons suivantes:

- 1) opportunités choisies au hasard;
- 2) concentrées;
- 3) régulièrement espacées.

Si les opportunités de bourrage sont choisies au hasard, alors chaque îlot aura des opportunités de bourrage sur différentes trames ODU3 (même pour les mappages de signaux CBR2G5 dans ODU1 ou ODU1 dans ODU2, pour lesquels il y a une opportunité de bourrage pour 16 trames ODU3 "effectives"; l'opportunité particulière sera différente pour chaque îlot).

#### VIII.2.4 Modèle général

Les modèles présentés aux § VIII.2.1 et VIII.2.3 ont été associés de façon à constituer un modèle général d'accumulation de la gigue et du dérapage dans un réseau d'îlots OTN. Le signal client appliqué à l'entrée du premier îlot est supposé dépourvu de gigue, bien qu'il puisse présenter un décalage de fréquence par rapport à la valeur nominale (éventuellement choisie au hasard dans un intervalle donné). Le signal de phase de sortie, filtré par le démappeur/démultiplexeur, de chaque îlot, constitue le signal de phase d'entrée de l'îlot suivant au même niveau (c'est-à-dire l'horloge en écriture pour cet îlot). La sortie de chaque îlot peut également constituer séparément le signal d'entrée d'un filtre de mesure de la gigue, afin d'obtenir une évaluation de gigue pour cet îlot. Les valeurs crête à crête et les valeurs efficaces (en fait l'écart type) de la phase et de la gigue sont calculées pour les signaux de sortie de chaque îlot. Ces calculs sont effectués au terme d'un intervalle de temps initial (spécifié pour le signal d'entrée), pour permettre la décroissance de toute transitoire initiale (ce délai peut être déterminé sur la base des constantes de temps des filtres et vérifié au moyen d'un passage d'essai initial utilisant un échantillonnage de formes d'onde). De plus, il est possible de sauvegarder, sous forme de fichiers, toutes les formes d'onde de phase (avec ou sans filtrage) et de gigue, issues de tous les îlots, bien que cela ne soit pas normalement fait dans le cas des passages machines comportant un grand nombre d'îlots et une durée de simulation notable, compte tenu de l'importance considérable des besoins correspondants de stockage sur disque.

Les valeurs crête à crête de la phase et de la gigue sont évaluées en sauvegardant, lors de chaque intervalle de simulation, au terme de la période d'initialisation, les échantillons des valeurs maximales de la phase et de la gigue observées jusqu'à ce stade. L'écart type est calculé comme étant égal à la racine carrée de la variance de l'échantillon, elle-même obtenue par la formule (on suppose dans ce calcul que les intervalles de temps de simulation sont suffisamment nombreux pour que la différence entre le nombre d'échantillons et le nombre d'échantillons moins un (nombre de degrés de liberté) soit négligeable):

$$\sigma_{\phi}^2 = \frac{1}{n - n_0} \sum_{j=n_0+1}^n \phi^2(jT) - \left( \frac{1}{n - n_0} \sum_{j=n_0+1}^n \phi(jT) \right)^2 \quad (\text{VIII-21})$$

Dans l'équation (VIII-21),  $\phi(jT)$  désigne la phase ou la gigue lors du  $j^{\text{e}}$  intervalle de temps,  $\sigma_{\phi}^2$  la variance de l'échantillon,  $n$  le nombre d'intervalles de temps et  $n_0$  le nombre d'intervalles de temps au cours de la période d'initialisation.

Le modèle de simulation comporte nécessairement l'utilisation d'un générateur de nombres aléatoires: on a utilisé en l'occurrence un générateur fondé sur une combinaison d'algorithmes de congruence linéaire et de séquence de registres à décalage, doté d'une période de l'ordre de  $(2^{32} - 1)(2^{48} - 1) = 1,2 \times 10^{24}$ . Dans tous les cas, plusieurs exécutions répétées du programme ont été réalisées en sauvegardant l'état du générateur dans un fichier et en utilisant cet état pour initialiser le générateur en vue de l'exécution répétée suivante. Le nombre d'échantillons aléatoires – c'est-à-dire le nombre d'invocations du générateur – était comptabilisé (au moyen de deux variables

entières codées sur 32 bits), de façon à pouvoir vérifier en permanence la disponibilité d'échantillons aléatoires.

Le programme du modèle de simulation a été rédigé en langage C.

### VIII.3 Résultat de la simulation de gigue et de dérapage à court terme

Des simulations ont été réalisées pour chacun des modèles théoriques de référence décrits à l'Appendice VII. Tel qu'indiqué dans le paragraphe précédent, les opportunités de justification pour le multiplexage de signaux ODU2 dans ODU3 ne sont pas nécessairement régulièrement espacées. Trois cas ont été pris en considération:

- choix aléatoire des opportunités de bourrage pour chaque mappage ODU2→ODU3;
- concentration des opportunités de bourrage pour chaque mappage ODU2→ODU3 (autrement dit, dans un ensemble de 16 trames ODU3, une trame ODU2 correspond à quatre opportunités de bourrage dans une rangée, suivie de 12 trames sans opportunité de bourrage);
- espacement régulier des opportunités de bourrage (une fois toutes les quatre trames ODU3).

Le premier cas est le plus réaliste, le second traduit l'hypothèse la plus défavorable et le troisième l'hypothèse la plus favorable.

Enfin une situation particulièrement défavorable – lorsqu'on utilise un schéma de justification positif/nul/négatif pour l'accumulation de gigue et de dérapage – peut se présenter lorsque le décalage de fréquence entre les horloges client et mappeur est faible, mais non nul et suffisamment petit pour que le débit de bourrage qui en résulte soit limité par comparaison à la largeur de bande du désynchroniseur. Aussi les deux cas suivants ont-ils été considérés:

- horloges client et mappeur en fonctionnement libre, avec des décalages de fréquence compris dans les tolérances de fréquence prescrites (c'est-à-dire  $\pm 20$  ppm, mais adaptées de façon à intégrer le fait que l'en-tête fixe dans la trame ODU $k$  n'est pas pris en compte);
- horloges client et mappeur en fonctionnement libre avec décalage de fréquence de  $\pm 0,05$  ppm.

Dans cette dernière hypothèse, le décalage maximal de fréquence entre client et serveur est de 0,1 ppm. Pour le mappage de signaux CBR2G5 dans ODU1 (et donc comme cela est pratiquement le cas pour le mappage ODU1 dans ODU2), il en résulte un débit de bourrage moyen de 31 Hz, soit une valeur nettement inférieure à la largeur de bande de 300 Hz du désynchroniseur. Pour démontrer ce résultat, considérons le décalage de fréquence entre les horloges client et OPU1 (pour un mappeur particulier) et  $f_0$  la fréquence nominale OPU1. Alors la phase excédentaire (positive ou négative) s'accumule à un rythme égal à  $\gamma f_0$ . Puisque l'unité de bourrage est de 1 octet, soit 8 UI (positif ou négatif), le temps moyen entre deux bourrages est d'environ  $8/\gamma f_0$ , et le débit moyen de bourrage est de  $\gamma f_0/8$ . Si l'amplitude maximale de décalage de fréquence entre client et OPU1 est égale à  $\gamma_{\max} = 0,1$  ppm, alors le débit moyen de bourrage maximal est donné par la formule:

$$f_{stuff,\max} = (0,1 \times 10^{-6})(2,488320 \times 10^9)/8 = 31 \text{ Hz} \quad (\text{VIII-22})$$

En ce qui concerne le bourrage ODU2 dans ODU3, dans l'hypothèse la plus favorable le débit serait quatre fois plus élevé, soit une fréquence de 124 Hz, laquelle reste en deçà de la largeur de bande de 300 Hz du désynchroniseur.

Ensuite, puisqu'il y a deux modèles théoriques de références, trois jeux d'hypothèses quant aux opportunités de bourrage et deux séries d'hypothèses en matière de précision d'horloge, 12 cas au total peuvent être pris en considération. Ces derniers sont récapitulés au Tableau VIII.1 (notés cas numéros 1 à 12).

De plus, le Tableau VIII.1 indique le nombre de répétitions indépendantes de la simulation dans chaque cas. Si l'on exécute 300 simulations indépendantes, on obtient un niveau de confiance statistique satisfaisant pour le 95<sup>e</sup> centile d'une distribution (autrement dit si l'on classe par ordre croissant 300 échantillons indépendants d'une population, l'intervalle compris entre le 275<sup>e</sup> et le 294<sup>e</sup> échantillon (les 7<sup>e</sup> et 26<sup>e</sup> échantillons les plus importants) donne un intervalle de confiance à 99% pour le 95<sup>e</sup> centile de la distribution de cette population). Ce résultat tient au fait que, si les échantillons sont choisis de façon indépendante et présentent tous la même distribution, on obtient alors, à partir d'une loi binomiale, des intervalles de confiance assez étroits pour un centile de la distribution (voir les indications détaillées figurant dans [2]). Toutefois, compte tenu de la limitation des moyens de calcul, seuls les cas 9 à 12 ont donné lieu à 300 répétitions. Dans les autres cas, il est encore possible d'obtenir des intervalles de confiance à 99% pour le 95<sup>e</sup> centile de la distribution correspondante; néanmoins les intervalles seront plus importants, puisque les répétitions sont en nombre inférieur à 300 (voir Tableau VIII.3).

**Tableau VIII.1/G.8251 – Récapitulation des cas de simulation**

<b>Cas de simulation</b>	<b>Modèle théorique de référence</b>	<b>Opportunités de bourrage</b>	<b>Décalage d'horloge</b>	<b>Nombre de répétitions indépendantes de la simulation</b>
1	HRM 1	Choix aléatoire	Décalage aléatoire dans la limite de la précision en fonctionnement libre	271
2	HRM 2	Choix aléatoire	Décalage aléatoire dans la limite de la précision en fonctionnement libre	271
3	HRM 1	Choix aléatoire	Décalage aléatoire compris dans l'intervalle $\pm 0,05$ ppm	271
4	HRM 2	Choix aléatoire	Décalage aléatoire compris dans l'intervalle $\pm 0,05$ ppm	271
5	HRM 1	Choix concentré	Décalage aléatoire dans la limite de la précision en fonctionnement libre	191
6	HRM 2	Choix concentré	Décalage aléatoire dans la limite de la précision en fonctionnement libre	191
7	HRM 1	Choix concentré	Décalage aléatoire compris dans l'intervalle $\pm 0,05$ ppm	255
8	HRM 2	Choix concentré	Décalage aléatoire compris dans l'intervalle $\pm 0,05$ ppm	255
9	HRM 1	Espacement régulier	Décalage aléatoire dans la limite de la précision en fonctionnement libre	300
10	HRM 2	Espacement régulier	Décalage aléatoire dans la limite de la précision en fonctionnement libre	300

**Tableau VIII.1/G.8251 – Récapitulation des cas de simulation**

Cas de simulation	Modèle théorique de référence	Opportunités de bourrage	Décalage d'horloge	Nombre de répétitions indépendantes de la simulation
11	HRM 1	Espacement régulier	Décalage aléatoire compris dans l'intervalle $\pm 0,05$ ppm	300
12	HRM 2	Espacement régulier	Décalage aléatoire compris dans l'intervalle $\pm 0,05$ ppm	300

Le Tableau VIII.2 présente les autres paramètres relatifs aux cas de simulation. Ils sont communs à l'ensemble des cas. Il est à noter que le temps d'initialisation indiqué au Tableau VIII.2 désigne le temps nécessaire à la décroissance des transitoires initiales avant de commencer tout calcul de gigue crête à crête ou d'écart temporel.

**Tableau VIII.2/G.8251 – Paramètres communs à tous les cas de simulation**

Paramètres	Valeur
Mécanisme de bourrage	Bourrage d'octets +/-0
Ordre de désynchroniseur/démultiplexeur	Second ordre, avec pente de coupure à 20 dB/par décade
Largeur de bande à 3 décibels du désynchroniseur/démultiplexeur	300 Hz
Crêtage de gain du désynchroniseur/démultiplexeur	0,1 dB
Rapport d'amortissement du désynchroniseur/démultiplexeur	4,6465 (correspondant à un crêtage de gain de 0,1 décibel)
Conditions initiales de tampon de mappeur	Aléatoire
Intervalle de temps	$3,0607 \times 10^{-6}$ s
Temps de simulation	31 s
Temps d'initialisation	1,0 s

### VIII.3.1 Résultats concernant l'accumulation de gigue large bande

Le présent paragraphe indique les résultats concernant l'accumulation de gigue large bande crête à crête pour le signal client CBR2G5 et, dans le cas du modèle 2 pour le signal client ODU1. Les résultats d'accumulation de gigue ODU1 selon le modèle 2 se rapportent à l'îlot final ODU1; en l'occurrence le transport du signal ODU1 s'effectue sur 33 îlots ODU2 suivis d'un seul îlot ODU2 contenant 33 îlots ODU3.

On obtient dans chaque cas un intervalle de confiance à 99% pour le 95<sup>e</sup> centile en classant les résultats de gigue crête à crête par ordre croissant. Un intervalle de confiance à 99% pour le 95<sup>e</sup> centile de la distribution se situe alors entre les échantillons dont les indices (après classement) sont mentionnés au Tableau VIII.3. Tel qu'il est indiqué plus haut, ce résultat s'explique par le fait que les intervalles de confiance peuvent être déterminés à partir d'une loi binomiale; des indications plus détaillées figurant dans [2] (le même résultat est appliqué pour l'obtention des intervalles de confiance de l'erreur maximale d'intervalle de temps MTIE au § II.5/G.810).

**Tableau VIII.3/G.8251 – Etendue de l'intervalle de confiance à 99% du 95<sup>e</sup> centile  
d'une distribution, selon le nombre d'échantillons**

Nombre d'échantillons	Indice de l'échantillon à l'extrémité inférieure de l'intervalle de confiance à 99%	Indice de l'échantillon à l'extrémité supérieure de l'intervalle de confiance à 99%
300	275	294
271	248	266
255	234	251
191	174	189

NOTE – On suppose que les échantillons ont été classés par ordre croissant.

### **VIII.3.1.1 Résultats concernant l'accumulation de gigue large bande de signal client CBR2G5**

Les Figures VIII.3-1 à VIII.3-12 présentent respectivement les résultats d'accumulation de gigue large bande de signal client CBR2G5 relatifs aux cas 1 à 12. L'accumulation correspond au transport à travers 34 îlots ODU1 (c'est-à-dire le nombre d'îlots ODU1 dans chaque cas; les autres îlots sont des îlots ODU2 et ODU3).

La première constatation tient au fait que l'accumulation de gigue crête à crête est comprise dans la limite de réseau 1,5 UIpp définie dans la Rec. UIT-T G.825, et ce dans tous les cas. Le cas numéro 7 correspond à la situation la plus défavorable dans laquelle la limite supérieure de la gigue crête à crête la plus élevée (limite supérieure la plus élevée de l'intervalle de confiance à 99% pour le 95<sup>e</sup> centile) atteint près de 1,08 UIpp. On trouvera ci-après une présentation des principales conclusions dégagées.

Si l'on examine tout d'abord les cas relatifs au modèle 1 (Figures VIII.3-1, VIII.3-3, VIII.3-5, VIII.3-7, VIII.3-9 et VIII.3-11), il est à noter que la gigue crête à crête augmente sur les premiers îlots ODU1, puis reste à un niveau généralement constant sur les îlots restants. On observe certaines fluctuations de part et d'autre du niveau généralement constant, bien que l'amplitude de ces fluctuations reste généralement inférieure à l'accroissement initial. Ensuite, si l'on compare les cas comportant une tolérance d'horloge notable (respectivement les cas 1, 5 et 9 relatifs aux Figures VIII.3-1, VIII.3-5 et VIII.3-9) aux cas comportant une tolérance d'horloge plus stricte (cas 3, 7 et 11 correspondant aux Figures VIII.3-3, VIII.3-7 et VIII.3-11 respectivement), il est à noter que la gigue crête à crête est plus importante avec une tolérance d'horloge stricte, et que les fluctuations sont moins élevées. En outre, l'accroissement par rapport au niveau sensiblement constant intervient plus vite avec une tolérance d'horloge stricte, affectant quelque 3 îlots, contre un nombre de 4 à 10 avec une tolérance d'horloge large (dans ces derniers cas, le caractère plus progressif de l'accroissement rend plus subjective la détermination du moment auquel le niveau constant est atteint).

La gigue est plus importante avec une tolérance d'horloge stricte, puisqu'alors les bourrages sont réalisés à des niveaux de fréquence suffisamment bas pour autoriser leur filtrage de manière indépendante par le désynchroniseur. Dans ces cas, la gigue maximale se produit en cas de coïncidence des crêtes de gigue à des niveaux successifs. Cette valeur maximale est d'environ 1,22 UIpp, et peut être déterminée comme suit. Premièrement, la valeur absolue de la gigue de crête due à une justification de 8 UI pour le mappage CBR2G5 dans ODU1, filtrée par un désynchroniseur à filtre passe-bas de 300 Hz et à filtre de mesure de gigue passe-haut de 5 kHz, peut être évaluée. Ensuite, on peut également évaluer la valeur absolue de la gigue de crête imputable à une justification de 8 UI pour le mappage ODU1 dans ODU2, filtrée par deux désynchroniseurs passe-bas à 300 Hz (ODU2 dans ODU1 et ODU1 dans CBR2G5) et par un filtre de mesure de gigue passe-haut à 5 kHz. Ce résultat est ajouté au précédent en supposant que, dans

l'hypothèse la plus défavorable, les deux valeurs de crête coïncident. Enfin, on obtient le résultat concernant le mappage ODU2 dans ODU3 au moyen de trois filtres de désynchronisation et en tenant compte du fait que l'intervalle unitaire vaut sensiblement un quart de l'intervalle UI du signal CBR2G5. Enfin, le résultat global est multiplié par 2 afin d'obtenir la gigue crête à crête à partir de la gigue de crête en valeur absolue.

Il faut semble-t-il deux îlots pour avoir une probabilité suffisante d'obtention de cette gigue (la gigue crête à crête s'élève à environ 0,6 UI après 2 îlots d'après les Figures VIII.3-3, VIII.3-7 et VIII.3-11). Une crête de gigue en sens inverse exige un troisième îlot. Même dans ce cas, le maximum théorique de 1,22 UIpp n'est pas atteint. Il y a toujours semble-t-il un certain chevauchement des valeurs de crête dans le sens positif et dans le sens négatif. Si l'on considère la tolérance d'horloge plus importante (Figures VIII.3-1, VIII.3-5 et VIII.3-9), le niveau maximal de gigue crête à crête est plus bas et les fluctuations sont plus marquées. En effet, dans les cas de ce type, les bourrages peuvent être réalisés à des fréquences plus élevées et lorsque cette fréquence est du même ordre de grandeur que la largeur de bande du désynchroniseur ou plus importante, ils interfèrent entre eux.

Examinons ensuite l'incidence du caractère concentré, aléatoire ou régulièrement espacé des opportunités de bourrage ODU2. Avec une tolérance d'horloge stricte (Figures VIII.3-3, VIII.3-7 et VIII.3-11), la gigue maximale crête à crête est semblable dans les trois cas (1,08 UIpp pour les opportunités de bourrage concentrées, contre 1,06 UIpp pour les deux autres cas). Il en est ainsi parce que les bourrages ont alors tendance à être largement espacés (c'est-à-dire par plus de 16 ODU3). Avec une tolérance d'horloge importante, la relation de dépendance est sensiblement plus forte; la gigue crête à crête maximale dans le cas 9 (opportunités de bourrage régulièrement espacées, selon la Figure VIII.3-9) s'élève à environ 0,77 UIpp contre 0,81 UIpp dans les deux autres cas (Figures VIII.3-1 et VIII.3-5). De toute façon, l'impact de l'espacement des opportunités de bourrage est toujours réduit, puisqu'il affecte seulement le mappage ODU2 dans ODU3, pour lequel l'intervalle unitaire vaut seulement le quart de l'intervalle unitaire relatif au mappage CBR2G5 dans ODU1 ou ODU1 dans ODU2.

Si l'on examine ensuite les cas relatifs au modèle 2 (Figures VIII.3-2, VIII.3-4, VIII.3-6, VIII.3-8, VIII.3-10 et VIII.3-12), et si l'on remarque que pour les îlots ODU1 initiaux ne contenant aucun îlot ODU2 ou ODU3 (îlots 1 à 33), la gigue crête à crête augmente sur les premiers îlots ODU1, puis reste à peu près à ce niveau, avec des fluctuations. Cette évolution est pratiquement analogue à celle observée dans les cas associés au modèle 1, hormis le fait que le niveau stationnaire est inférieur à celui du modèle 1, puisqu'il correspond à un niveau seulement de mappage. On observe en outre des fluctuations moindres dans les cas associés au modèle 2, par comparaison à ceux du modèle 1 (autrement dit, si l'on compare les cas 1 et 2, 3 et 4, 5 et 6, 7 et 8, 9 et 10 et enfin 11 et 12). Ensuite, les cas associés au modèle 2 font tous apparaître un accroissement de la gigue au niveau du 34<sup>e</sup> îlot ODU1. Celui-ci est dû au niveau plus élevé de mappage dans cet îlot (33 mappages/démappages ODU1 dans ODU2, suivis d'un îlot ODU2 contenant 33 îlots ODU3). Cet accroissement de la gigue dans l'îlot final amène la gigue crête à crête sensiblement au niveau observé dans le cas du modèle 1 correspondant (la gigue atteint un niveau légèrement plus faible avec une tolérance d'horloge stricte, et légèrement plus fort avec une tolérance d'horloge plus importante).

Les résultats ainsi obtenus du point de vue de l'accumulation de gigue large bande CBR2G5 sont les suivants:

- la limite de réseau G.825 de 1,5 UIpp est observée;
- l'accumulation de gigue crête à crête augmente de façon relativement rapide jusqu'à atteindre une valeur maximale et conserve cette valeur; le classement des îlots par type revêt une importance secondaire (c'est-à-dire ODU1, ODU2 et ODU3);

- on constate une dépendance réduite par rapport à l'emplacement des opportunités de bourrage;
- l'accumulation de gigue est plus forte en présence de tolérances d'horloge réduites.

### **VIII.3.1.2 Résultats d'accumulation de gigue large bande de signal client ODU1**

Les Figures VIII.3-13 à VIII.3-18 présentent respectivement les résultats correspondant à l'accumulation de gigue large bande du signal client ODU1 dans les cas 2, 4, 6, 8, 10 et 12. L'accumulation obtenue est indiquée pour 33 îlots ODU2, numérotés de 35 à 67 (ce qui correspond dans chaque cas au nombre d'îlots ODU2 dans l'îlot final ODU1; il est à noter que l'îlot final ODU2 contient 33 îlots ODU3).

L'accumulation de gigue crête à crête est toujours inférieure à la limite de réseau de 1,5 UIpp définie au § 5.1/G.8251. La valeur maximale de la gigue crête à crête est atteinte en présence d'une tolérance d'horloge restreinte (Figures VIII.3-14, VIII.3-16 et VIII.3-18); elle est alors de 0,84 UIpp.

Les résultats sont qualitativement analogues à ceux obtenus dans le cas de clients CBR2G5. L'emplacement des opportunités de bourrage a une incidence réduite. La gigue crête à crête augmente sur les premiers îlots jusqu'à ce qu'elle atteigne un niveau sensiblement constant à partir duquel elle fluctue en ce qui concerne les îlots restants. L'augmentation est plus rapide et les fluctuations plus limitées avec une tolérance d'horloge restreinte, par comparaison aux situations de tolérance d'horloge plus importante. L'accumulation globale de gigue est plus forte lorsque la tolérance d'horloge est plus réduite. Enfin, on observe un accroissement de la gigue dans le dernier îlot ODU2 en raison des îlots ODU3 qu'il contient (les précédents îlots ODU2 ne contenaient aucun niveau de multiplexage plus élevé).

### **VIII.3.1.3 Résultats d'accumulation de dérapage à court terme (TDEV) de signal client STM-16**

On trouvera ci-dessous les résultats obtenus pour l'accumulation de dérapage à court terme d'un signal client CBR2G5 sur l'ensemble des îlots. Les résultats sont présentés sous forme d'écart temporel TDEV concernant le signal client CBR2G5 à la sortie du dernier îlot ODU1. L'écart TDEV est affiché pour des temps d'intégration allant de 3,06  $\mu$ s (intervalle de temps de simulation) à environ 10 s (soit le tiers du temps de simulation total de 30 s après le temps d'initialisation d'une seconde; il convient de noter que l'écart temporel TDEV implique un deuxième calcul de différence et ne peut donc être obtenu pour des temps d'intégration correspondant au tiers de l'ensemble des données). On observera que ce sont essentiellement les temps d'intégration d'au moins 0,05 s qui présentent un intérêt, puisque l'écart temporel caractérise le dérapage.

On détermine pour chaque valeur du temps d'intégration la racine carrée de l'écart temporel moyen (moyenne calculée sur l'ensemble des répétitions), ainsi que la racine carrée de l'écart type de TVAR (c'est-à-dire la racine quadratique de la variance de TVAR, calculée sur l'ensemble des répétitions). La première grandeur est une estimation ponctuelle de la valeur probable de l'écart temporel TDEV, la seconde une valeur approchée de son écart type. Le 95<sup>e</sup> centile de TVAR est obtenu de façon approchée comme la valeur à deux écarts types de la moyenne TVAR, tandis que le 95<sup>e</sup> centile de TDEV est obtenu de façon approchée comme la racine carrée de ce premier résultat.

Les Figures VIII.3-19 à VIII.3-30 présentent respectivement les résultats des écarts TDEV CBR2G5 relatifs aux cas 1 à 12. Il est à noter tout d'abord que l'écart TDEV est compris dans la limite de 10 ns pour l'option SDH numéro 2, et dans la limite de 12 ns pour l'option SDH numéro 1 (et ce, pour les temps d'intégration inférieurs à 10 s pris en considération dans le cas présent; voir la Rec. UIT-T G.813). La valeur maximale de l'écart temporel TDEV est d'environ 1 ns avec une tolérance d'horloge importante, ce qui est le cas pour un temps d'intégration d'environ 0,01 s. L'écart temporel maximal est d'environ 3 ns avec une tolérance d'horloge réduite, ce qui intervient pour un

temps d'intégration d'environ 0,3 s. L'écart temporel TDEV est plus important avec des tolérances d'horloge réduites et lorsque les temps d'intégration sont plus longs, mais plus élevés lorsque les tolérances d'horloge sont plus grandes et les temps d'intégration plus courts. Cela tient très vraisemblablement à la fréquence accrue de la variation de phase en présence d'une tolérance d'horloge plus importante.

#### VIII.3.1.4 Conclusions

D'après les résultats ci-dessus:

- la limite de réseau G.825 de 1,5 UIpp est observée pour les signaux clients CBR2G5;
- la limite de réseau G.8251 de 1,5 UIpp est observée pour les signaux clients ODU1;
- l'accumulation maximale de gigue crête à crête augmente assez rapidement (sur les premiers îlots) pour atteindre une valeur maximale; l'ordre de classement des types d'îlots (ODU1, ODU2 et ODU3) présente une importance secondaire;
- les résultats dépendent peu de l'emplacement des opportunités de bourrage;
- l'accumulation de gigue est plus élevée avec des tolérances d'horloge réduites;
- les valeurs limites d'écart temporel de dérapage selon la Rec. UIT-T G.813, respectivement de 10 ns pour l'option SDH numéro 2 et de 12 ns pour l'option SDH numéro 1, sont observées dans le cas des signaux CBR2G5.

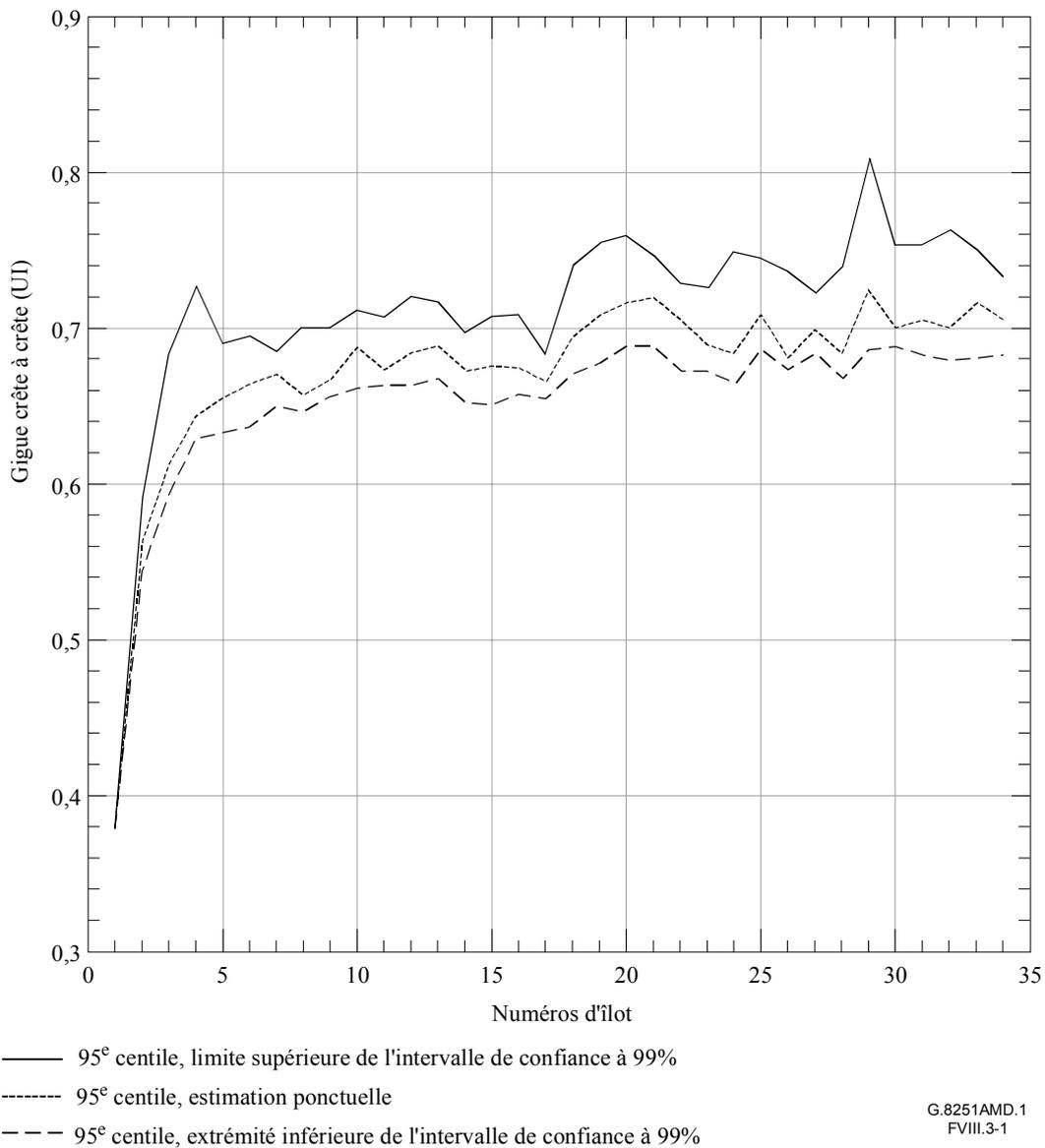
Il importe de souligner le troisième point des conclusions: tant que les îlots sont suffisamment nombreux, peu importe leur nombre effectif ou leur classement, puisque l'accumulation de gigue atteint un niveau de saturation. En fait, l'accumulation de gigue atteint un niveau de saturation pour tous les signaux clients CBR2G5 et ODU1 considérés dans le cas présent. Autrement dit, il est inutile de prendre en compte davantage d'îlots pour les cas de multiplexage ODU1 (la plus longue chaîne ODU1 était constituée de 33 îlots), en raison de la saturation déjà atteinte de la gigue.

Bien que la gigue des signaux clients ODU2 n'ait pas été étudiée, on s'attend à des résultats voisins de ceux obtenus pour le mappage STM-64 dans ODU2. En effet, le débit maximal de justification est sensiblement le même dans les deux cas. En l'occurrence, la gigue sera plus faible par comparaison au mappage CBR2G5 dans ODU1, en raison du filtre passe-haut de mesure de gigue à largeur de bande plus importante.

Les cas de simulation examinés ci-dessus ne prennent pas en considération la gigue haute bande. Tel est le cas lorsque la largeur de bande du filtre passe-haut de mesure de la gigue haute bande dépasse la largeur de bande du filtre passe-haut large bande dans une proportion d'environ 200, alors que la limite de réseau de gigue haute bande est inférieure dans un rapport de 1 à 10 à la limite de réseau de gigue large bande. Par conséquent, l'accumulation de gigue haute bande sera nettement inférieure à la limite de réseau – dans un rapport d'au moins 1 à 20 (ce résultat pouvant être obtenu en considérant la gigue imputable à une justification isolée de 8 intervalles unitaires).

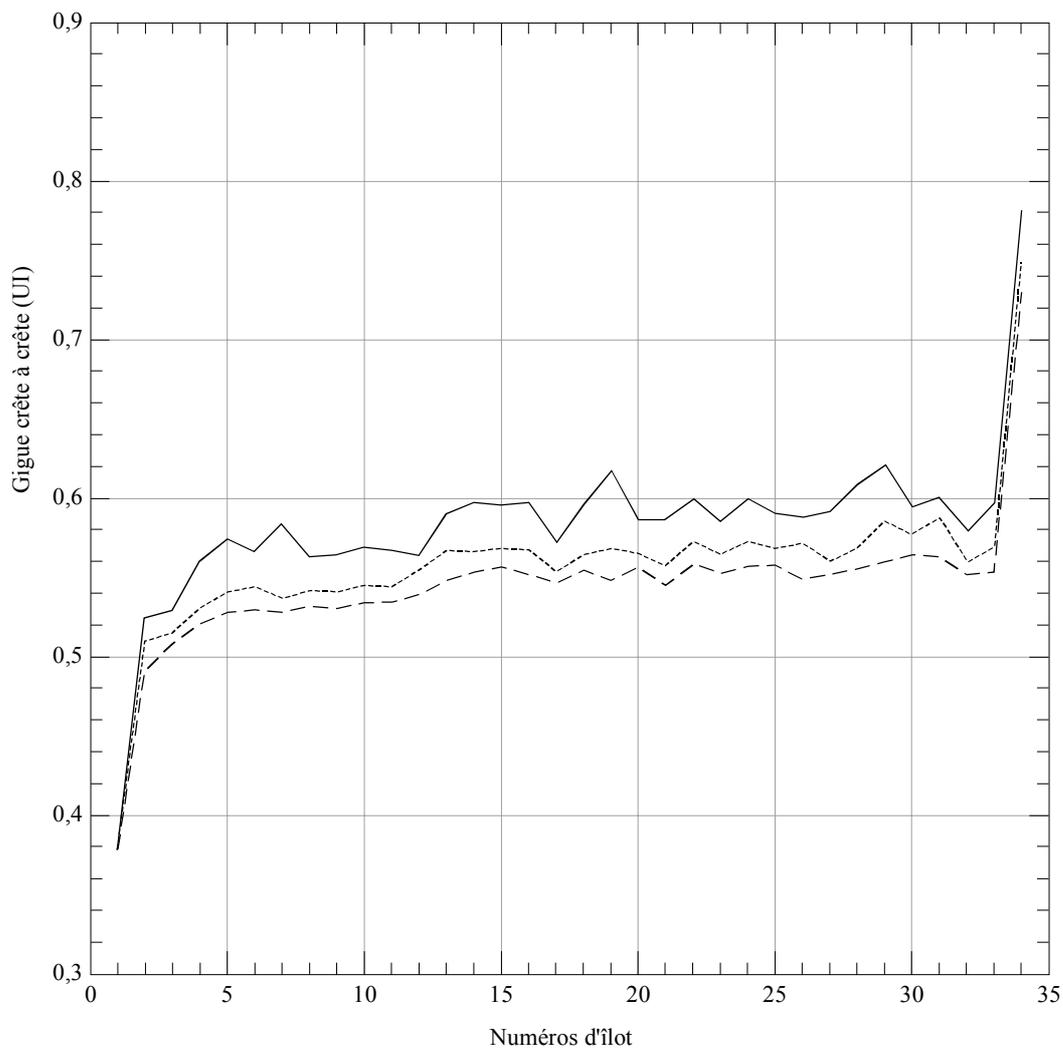
#### VIII.4 Bibliographie

- [1] SCHULTZ (Donald G.), MELSA (James L.): State Functions and Linear Control Systems, *McGraw-Hill*, New York 1967.
- [2] PAPOULIS (Athanasios): Probability, Random Variables, and Stochastic Processes, Third Edition, *McGraw-Hill*, p.254 (Eq. (9-25)), New York, 1991.



NOTE – Ilots ODU1 numérotés de 1 à 34. Désynchroniseur 300 Hz à tous les niveaux (avec crêtage de gain à 0,1dB).  
 Filtre de mesure de la gigue à 5 kHz. Autres hypothèses indiquées aux Tableaux VIII.1 et VIII.2.

**Figure VIII.3-1/G.8251 – Résultats de gigue large bande crête à crête de signal client CBR2G5 relatifs au cas 1 (modèle 1)**

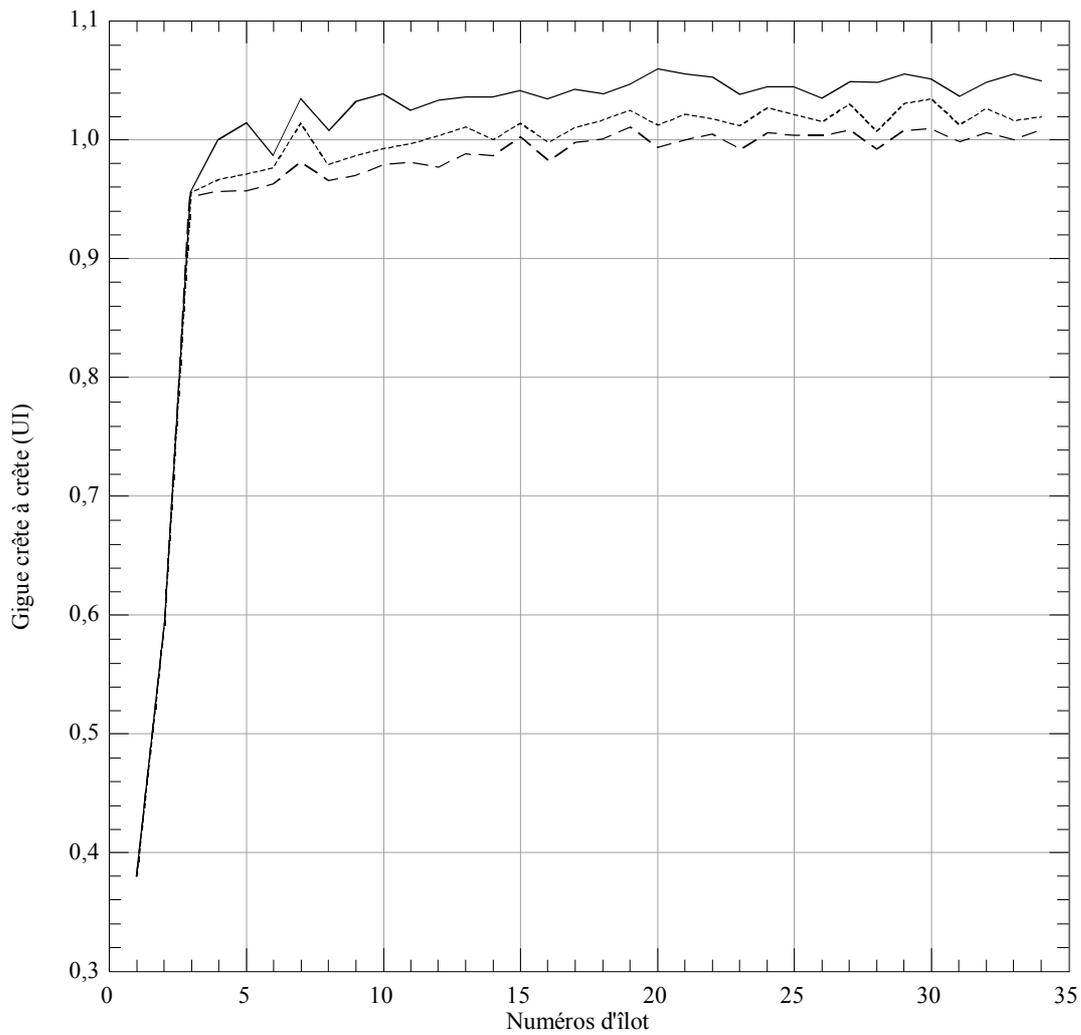


- 95<sup>e</sup> centile, limite supérieure de l'intervalle de confiance à 99%
- - - 95<sup>e</sup> centile, estimation ponctuelle
- . - 95<sup>e</sup> centile, extrémité inférieure de l'intervalle de confiance à 99%

G.8251AMD.1  
FVIII.3-2

NOTE – Îlots ODU1 numérotés de 1 à 34. Désynchroniseur 300 Hz à tous les niveaux (avec crêtage de gain à 0,1dB).  
Filtre de mesure de la gigue à 5 kHz. Autres hypothèses indiquées aux Tableaux VIII.1 et VIII.2.

**Figure VIII.3-2/G.8251 – Résultats de gigue large bande crête à crête de signal client CBR2G5 relatifs au cas 2 (modèle 2)**

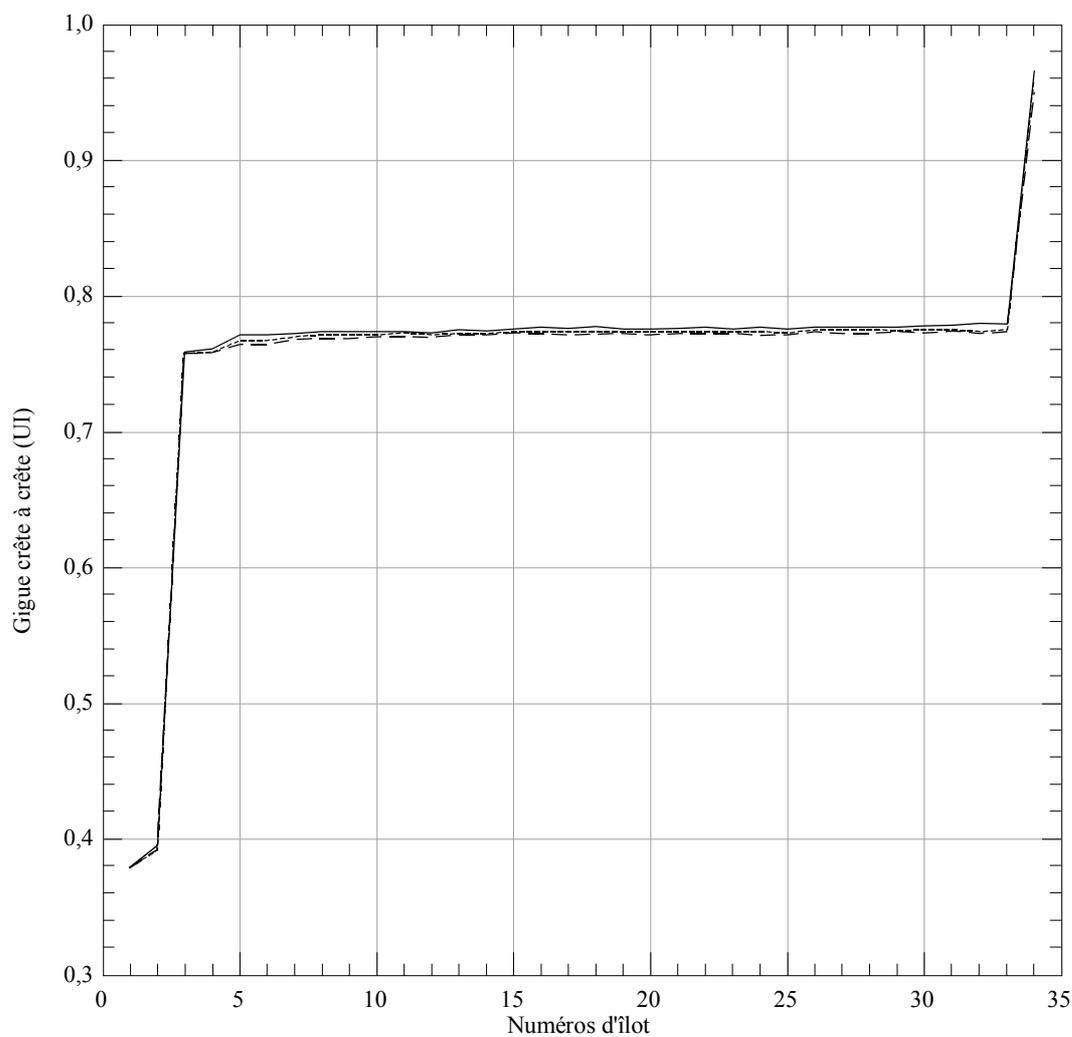


— 95° centile, limite supérieure de l'intervalle de confiance à 99%  
 - - - 95° centile, estimation ponctuelle  
 - . - 95° centile, extrémité inférieure de l'intervalle de confiance à 99%

G.8251AMD.1  
FVIII.3-3

NOTE – Ilots ODU1 numérotés de 1 à 34. Désynchroniseur 300 Hz à tous les niveaux (avec crêtage de gain à 0,1dB). Filtre de mesure de la gigue à 5 kHz. Autres hypothèses indiquées aux Tableaux VIII.1 et VIII.2.

**Figure VIII.3-3/G.8251 – Résultats de gigue large bande crête à crête de signal client CBR2G5 relatifs au cas 3 (modèle 1)**

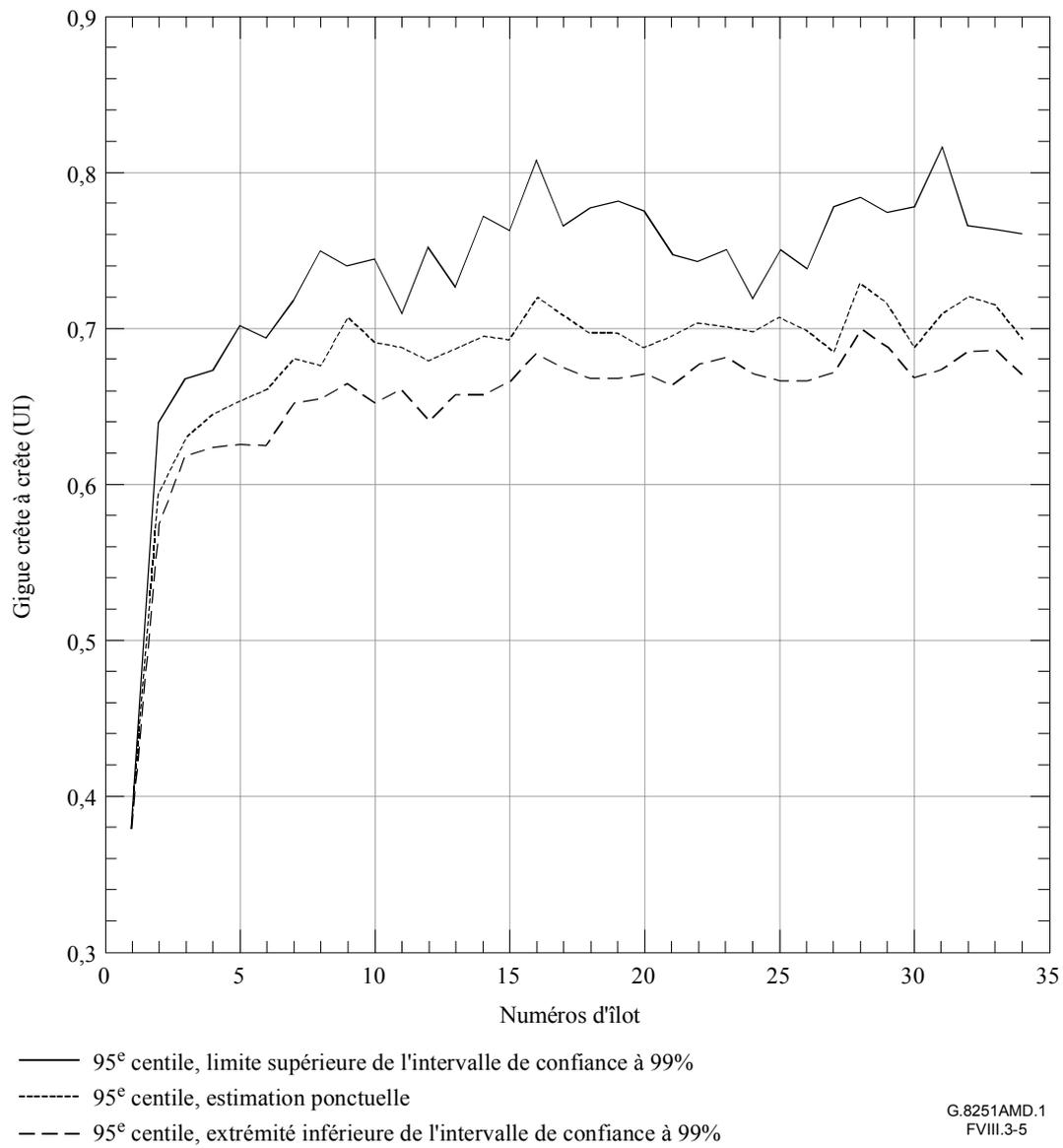


- 95° centile, limite supérieure de l'intervalle de confiance à 99%
- - - 95° centile, estimation ponctuelle
- . - 95° centile, extrémité inférieure de l'intervalle de confiance à 99%

G.8251AMD.1  
FVIII.3-4

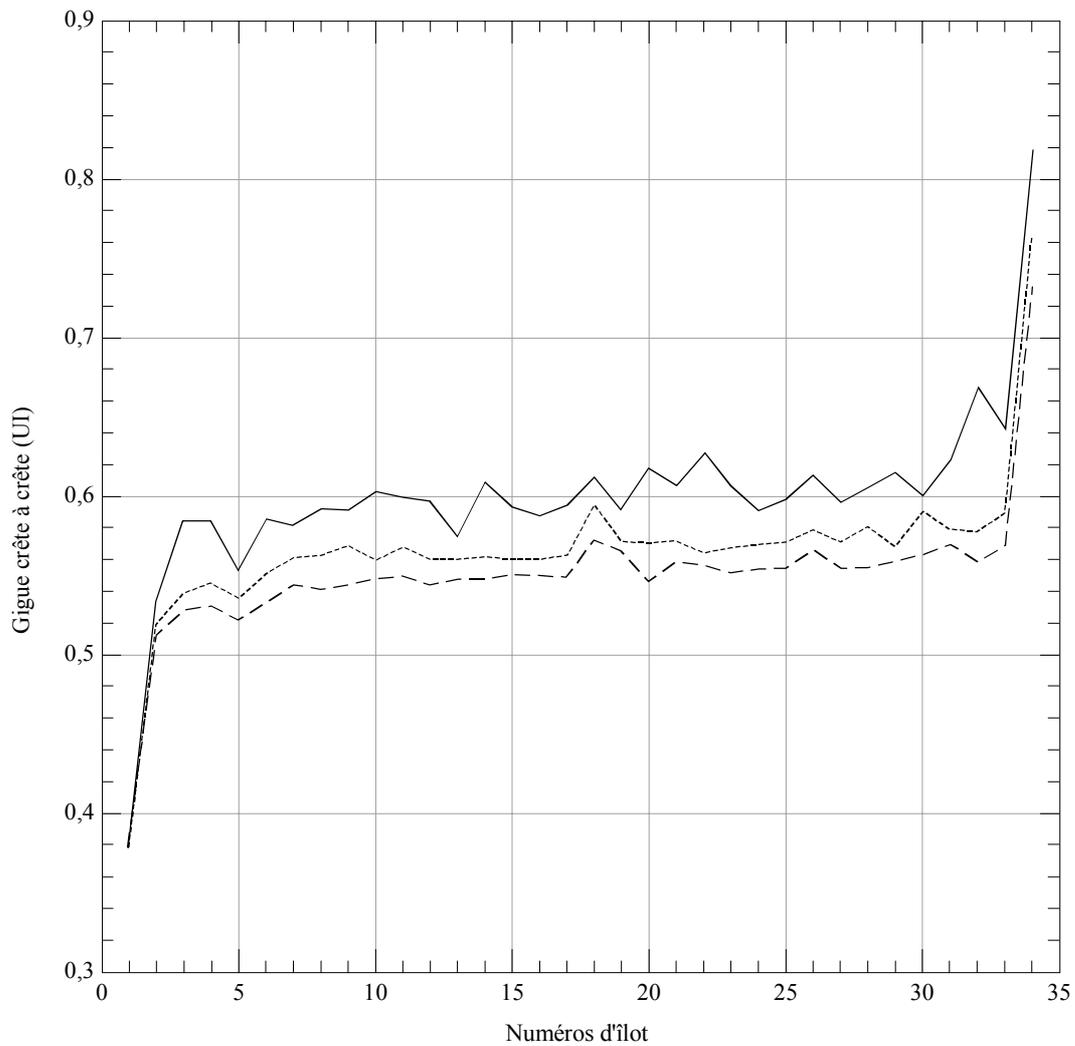
NOTE – Îlots ODU1 numérotés de 1 à 34. Désynchroniseur 300 Hz à tous les niveaux (avec crêtage de gain à 0,1dB).  
Filtre de mesure de la gigue à 5 kHz. Autres hypothèses indiquées aux Tableaux VIII.1 et VIII.2.

**Figure VIII.3-4/G.8251 – Résultats de gigue large bande crête à crête de signal client CBR2G5 relatifs au cas 4 (modèle 2)**



NOTE – Ilots ODU1 numérotés de 1 à 34. Désynchroniseur 300 Hz à tous les niveaux (avec crêtage de gain à 0,1dB).  
 Filtre de mesure de la gigue à 5 kHz. Autres hypothèses indiquées aux Tableaux VIII.1 et VIII.2.

**Figure VIII.3-5/G.8251 – Résultats de gigue large bande crête à crête de signal client CBR2G5 relatifs au cas 5 (modèle 1)**

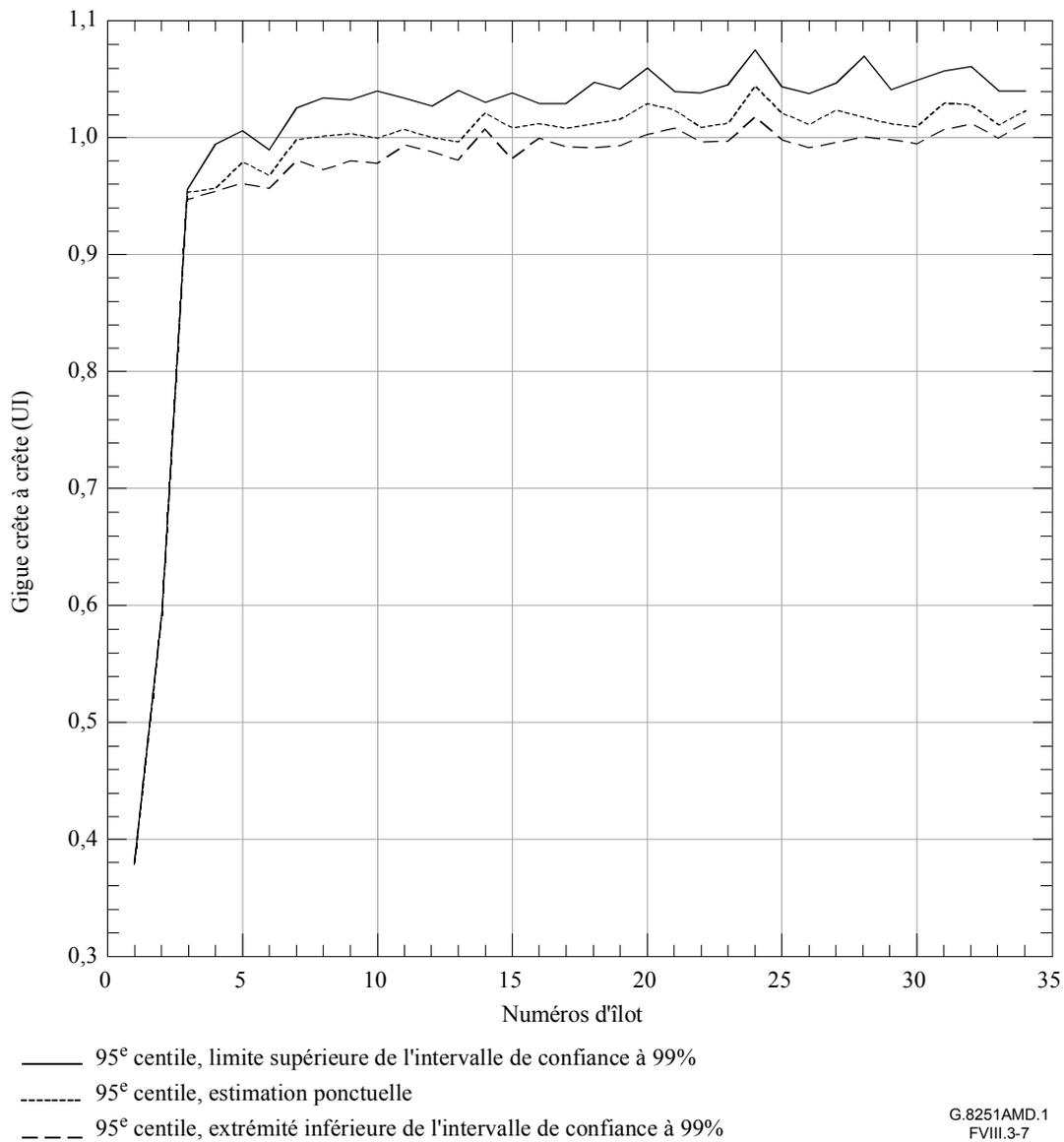


- 95<sup>e</sup> centile, limite supérieure de l'intervalle de confiance à 99%
- ..... 95<sup>e</sup> centile, estimation ponctuelle
- - - 95<sup>e</sup> centile, extrémité inférieure de l'intervalle de confiance à 99%

G.8251AMD.1  
FVIII.3-6

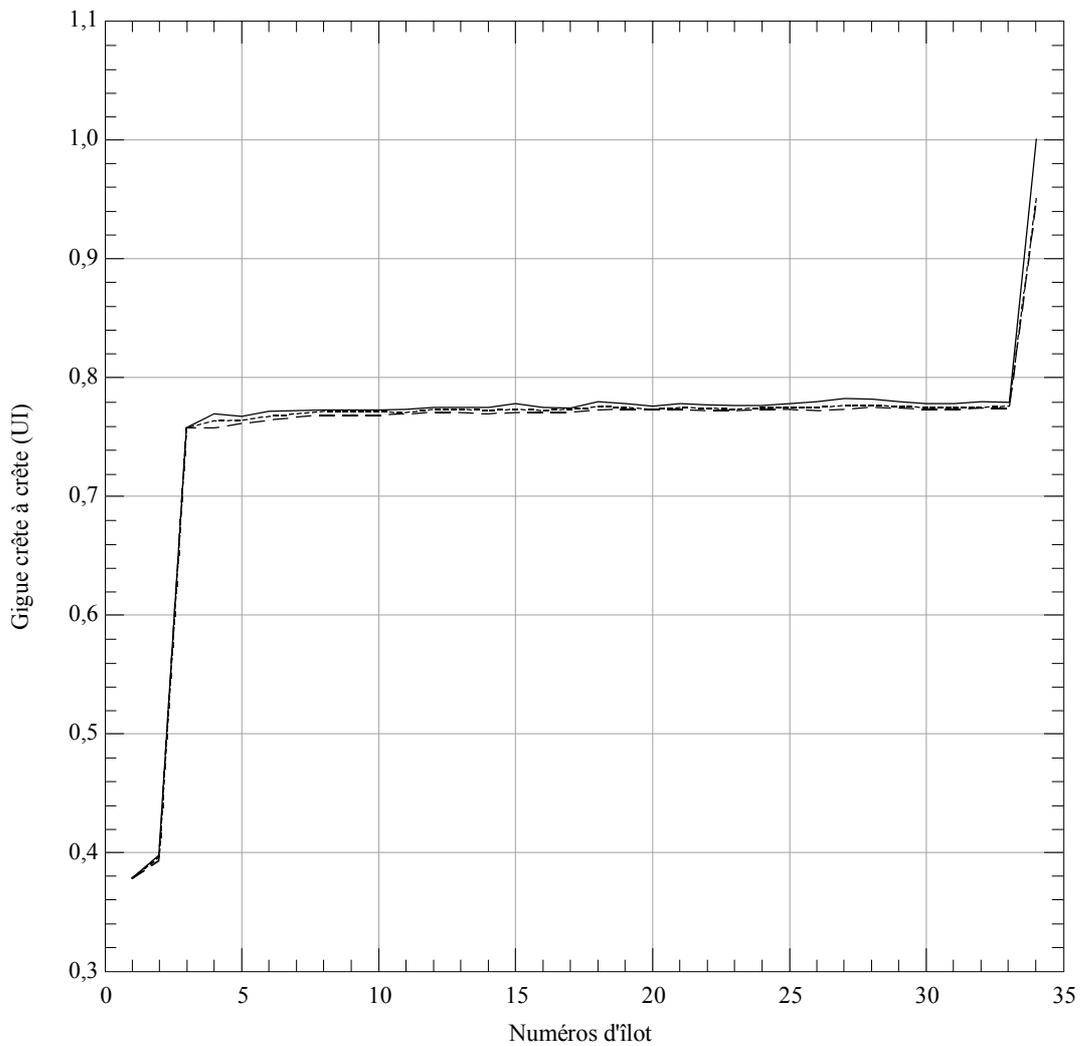
NOTE – Ilots ODU1 numérotés de 1 à 34. Désynchroniseur 300 Hz à tous les niveaux (avec crêtage de gain à 0,1dB).  
Filtre de mesure de la gigue à 5 kHz. Autres hypothèses indiquées aux Tableaux VIII.1 et VIII.2.

**Figure VIII.3-6/G.8251 – Résultats de gigue large bande crête à crête de signal client CBR2G5 relatifs au cas 6 (modèle 2)**



NOTE – Ilots ODU1 numérotés de 1 à 34. Désynchroniseur 300 Hz à tous les niveaux (avec crêtage de gain à 0,1dB).  
 Filtre de mesure de la gigue à 5 kHz. Autres hypothèses indiquées aux Tableaux VIII.1 et VIII.2.

**Figure VIII.3-7/G.8251 – Résultats de gigue large bande crête à crête de signal client CBR2G5 relatifs au cas 7 (modèle 1)**

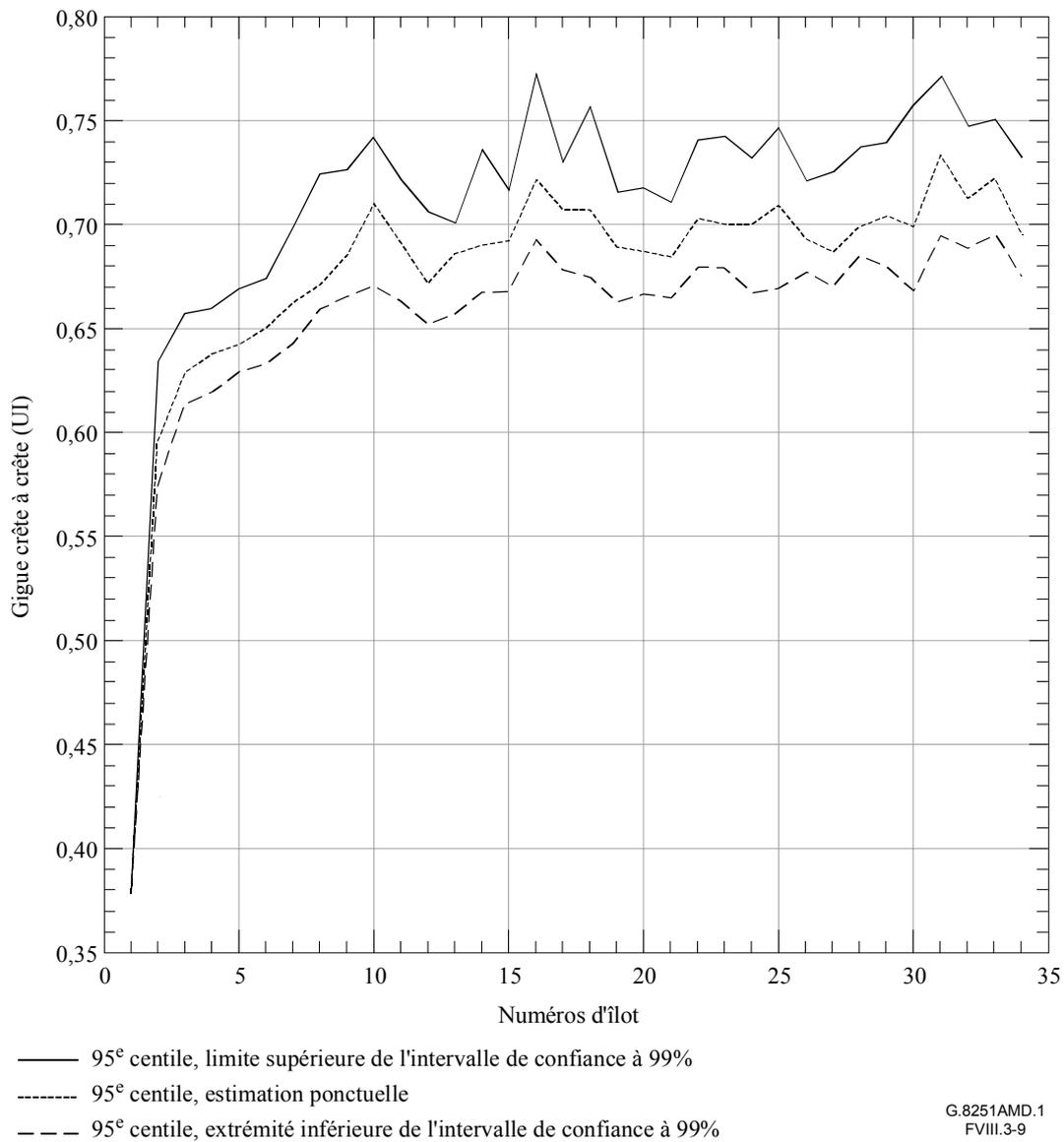


- 95° centile, limite supérieure de l'intervalle de confiance à 99%
- - - 95° centile, estimation ponctuelle
- . - 95° centile, extrémité inférieure de l'intervalle de confiance à 99%

G.8251AMD.1  
FVIII.3-8

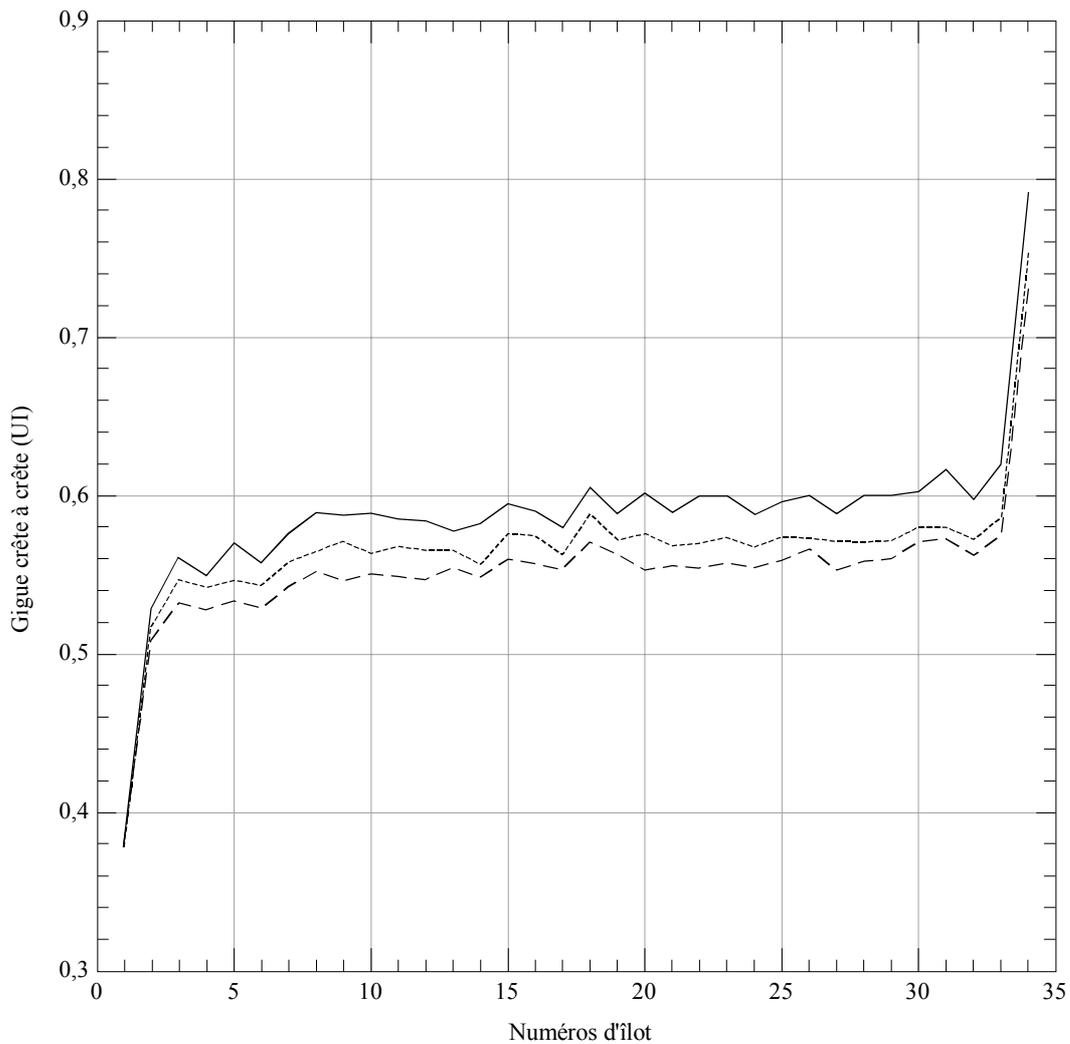
NOTE – Îlots ODU1 numérotés de 1 à 34. Désynchroniseur 300 Hz à tous les niveaux (avec crêtage de gain à 0,1dB).  
Filtre de mesure de la gigue à 5 kHz. Autres hypothèses indiquées aux Tableaux VIII.1 et VIII.2.

**Figure VIII.3-8/G.8251 – Résultats de gigue large bande crête à crête de signal client CBR2G5 relatifs au cas 8 (modèle 2)**



NOTE – Ilots ODU1 numérotés de 1 à 34. Désynchroniseur 300 Hz à tous les niveaux (avec crêtage de gain à 0,1dB). Filtre de mesure de la gigue à 5 kHz. Autres hypothèses indiquées aux Tableaux VIII.1 et VIII.2.

**Figure VIII.3-9/G.8251 – Résultats de gigue large bande crête à crête de signal client CBR2G5 relatifs au cas 9 (modèle 1)**

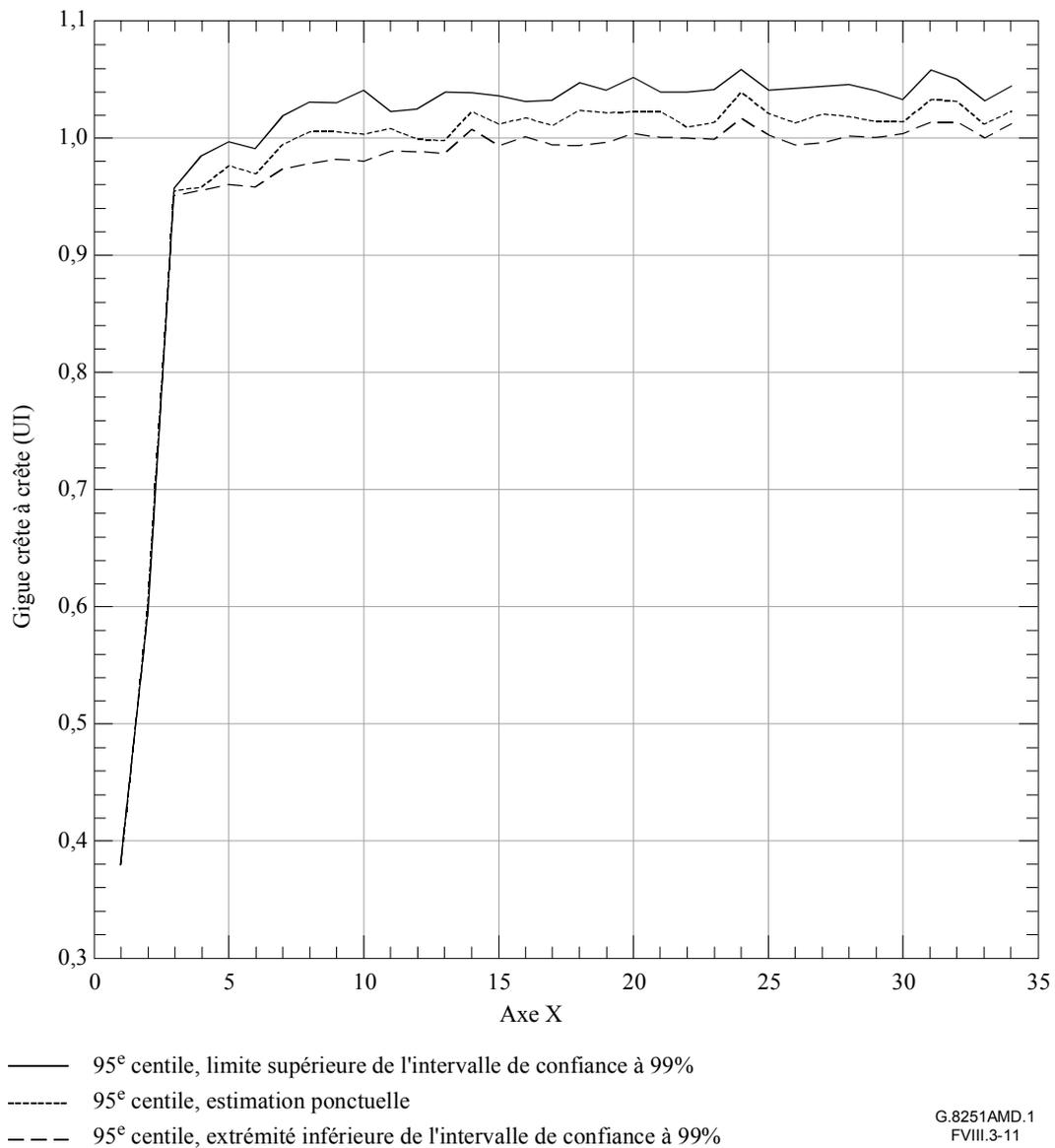


— 95° centile, limite supérieure de l'intervalle de confiance à 99%  
 - - - 95° centile, estimation ponctuelle  
 - . - 95° centile, extrémité inférieure de l'intervalle de confiance à 99%

G.8251AMD.1  
FVIII.3-10

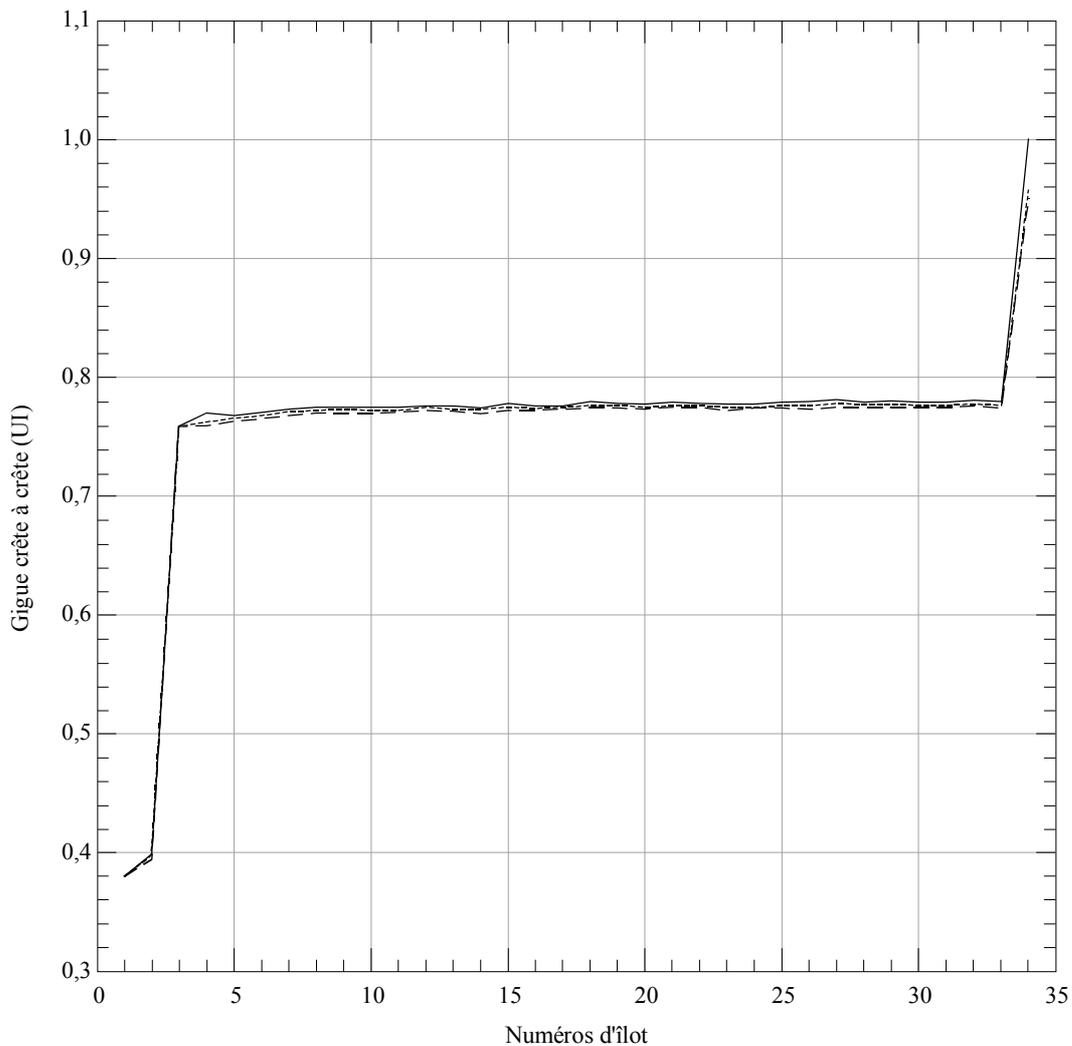
NOTE – Ilots ODU1 numérotés de 1 à 34. Désynchroniseur 300 Hz à tous les niveaux (avec crêtage de gain à 0,1dB).  
Filtre de mesure de la gigue à 5 kHz. Autres hypothèses indiquées aux Tableaux VIII.1 et VIII.2.

**Figure VIII.3-10/G.8251 – Résultats de gigue large bande crête à crête de signal client CBR2G5 relatifs au cas 10 (modèle 2)**



NOTE – Ilots ODU1 numérotés de 1 à 34. Désynchroniseur 300 Hz à tous les niveaux (avec crêtage de gain à 0,1dB).  
Filtre de mesure de la gigue à 5 kHz. Autres hypothèses indiquées aux Tableaux VIII.1 et VIII.2.

**Figure VIII.3-11/G.8251 – Résultats de gigue large bande crête à crête de signal client CBR2G5 relatifs au cas 11 (modèle 1)**

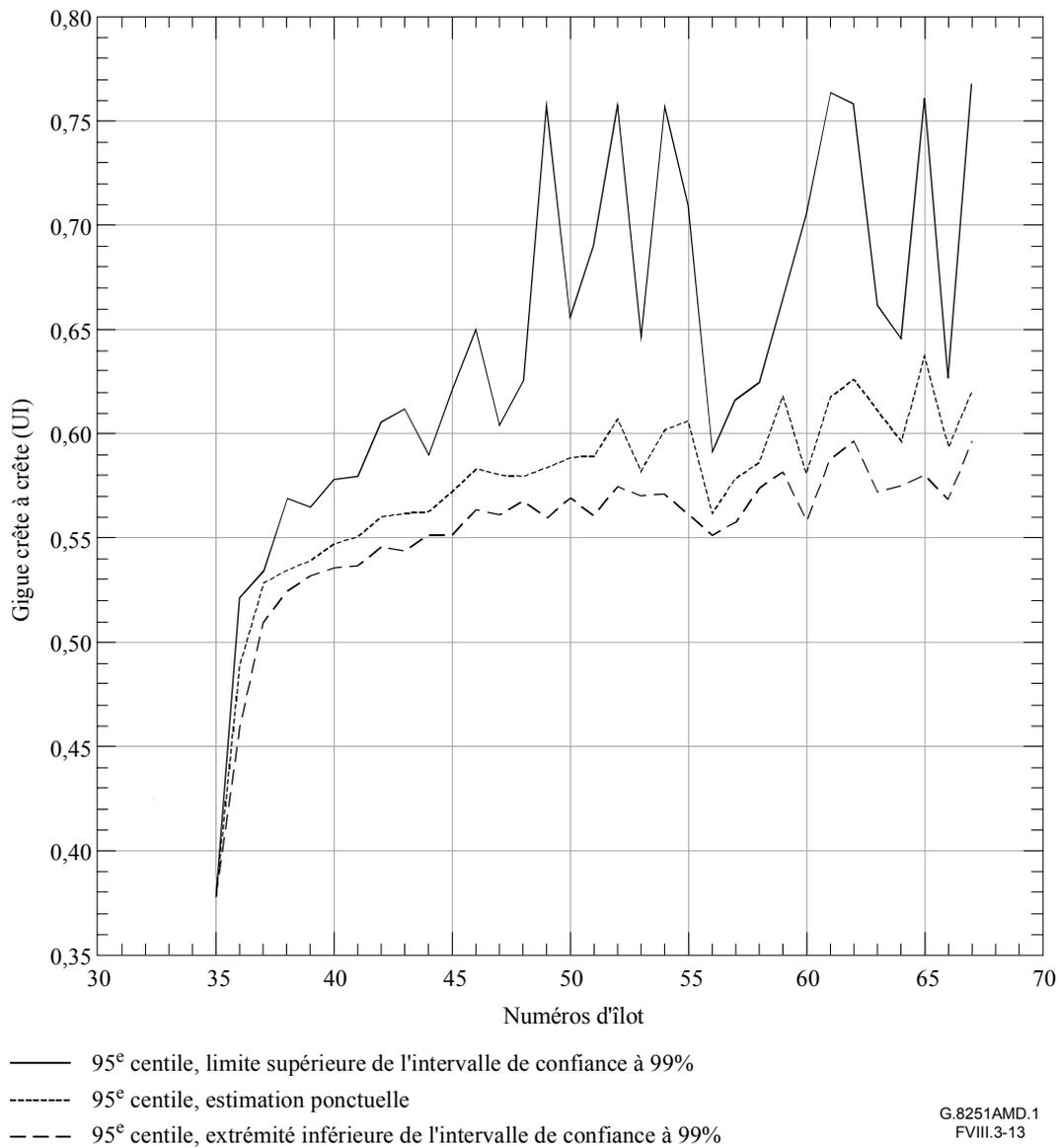


— 95<sup>e</sup> centile, limite supérieure de l'intervalle de confiance à 99%  
 - - - 95<sup>e</sup> centile, estimation ponctuelle  
 - . - 95<sup>e</sup> centile, extrémité inférieure de l'intervalle de confiance à 99%

G.8251AMD.1  
FVIII.3-12

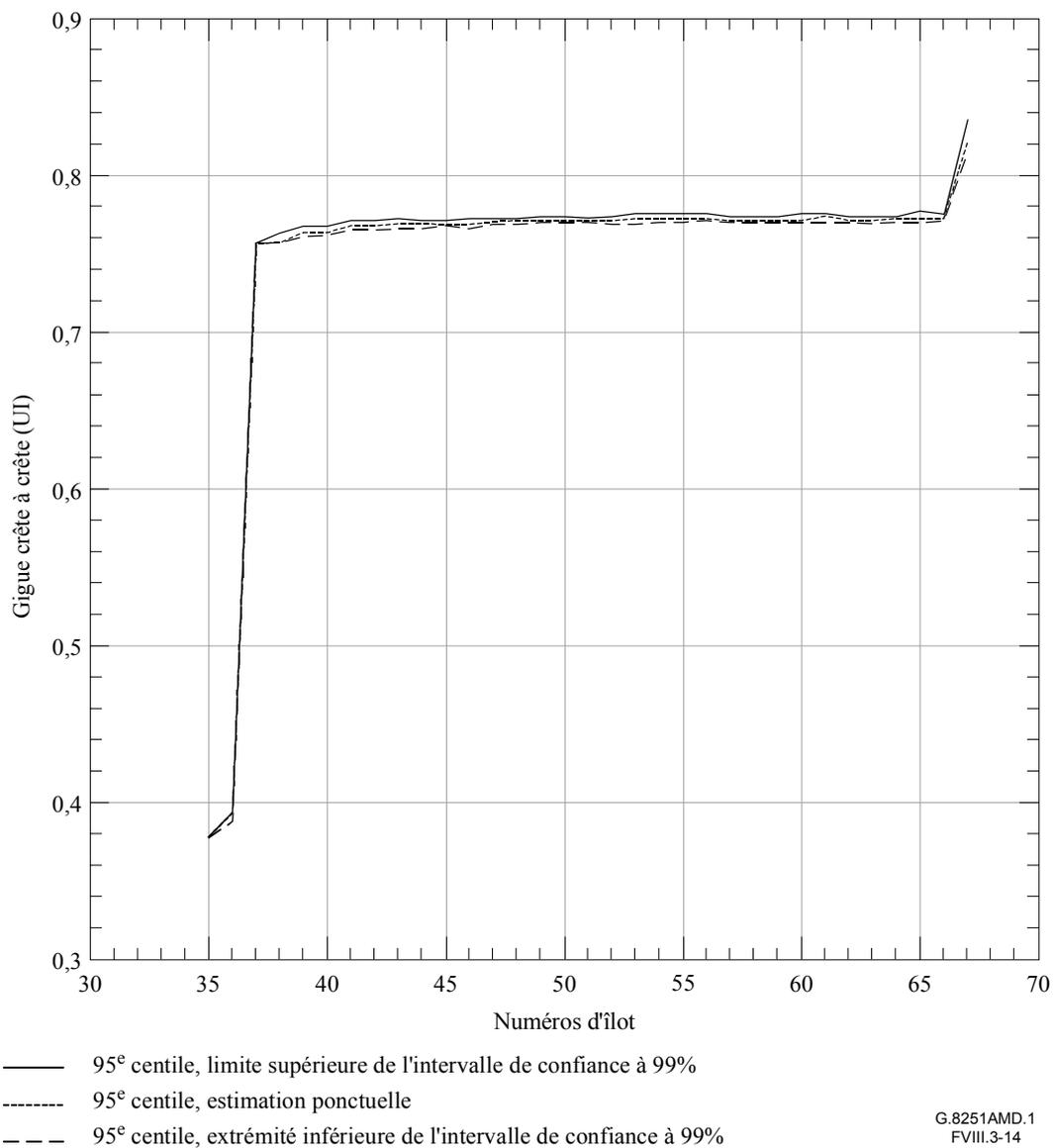
NOTE – Ilots ODU1 numérotés de 1 à 34. Désynchroniseur 300 Hz à tous les niveaux (avec crêtage de gain à 0,1dB).  
Filtre de mesure de la gigue à 5 kHz. Autres hypothèses indiquées aux Tableaux VIII.1 et VIII.2.

**Figure VIII.3-12/G.8251 – Résultats de gigue large bande crête à crête de signal client CBR2G5 relatifs au cas 12 (modèle 2)**



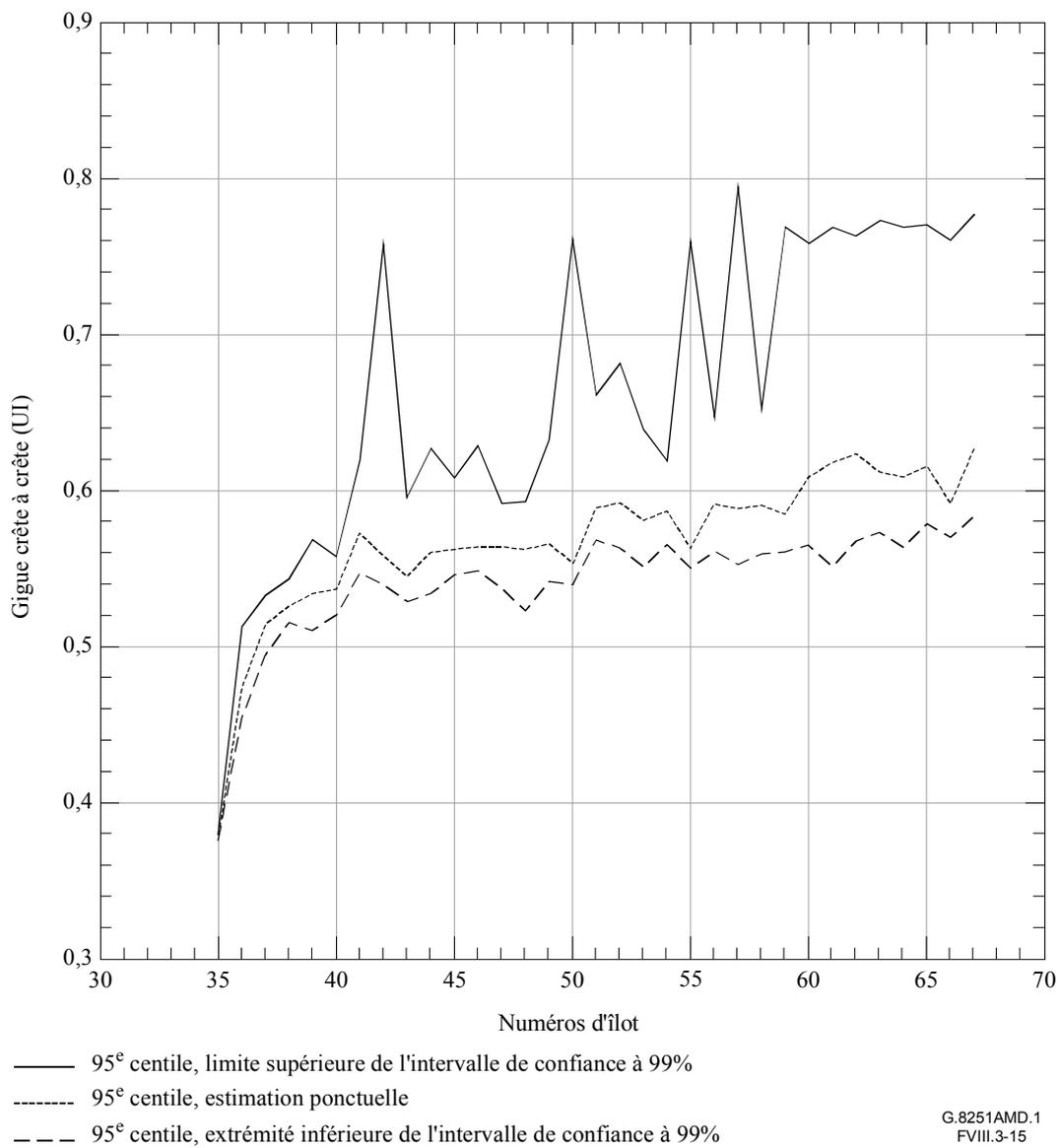
NOTE – Ilots ODU2 numérotés de 35 à 67. Désynchroniseur 300 Hz à tous les niveaux (avec crête de gain à 0,1dB). Filtre de mesure de la gigue à 5 kHz. Autres hypothèses indiquées aux Tableaux VIII.1 et VIII.2.

**Figure VIII.3-13/G.8251 – Résultats de gigue large bande crête à crête de signal client ODU1 relatifs au cas 2 (modèle 2)**



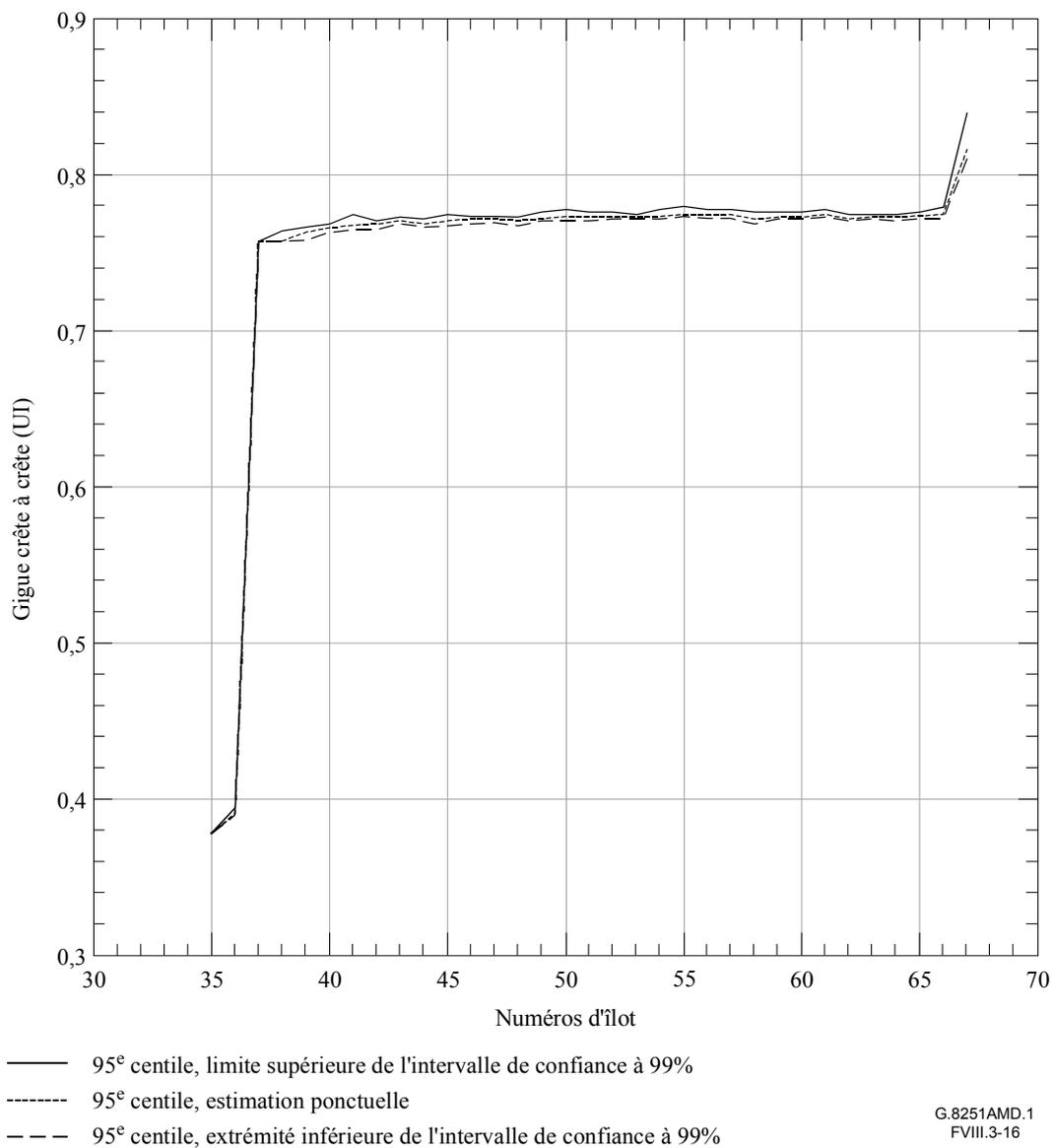
NOTE – Hots ODU2 numérotés de 35 à 67. Désynchroniseur 300 Hz à tous les niveaux (avec crête de gain à 0,1dB). Filtre de mesure de la gigue à 5 kHz. Autres hypothèses indiquées aux Tableaux VIII.1 et VIII.2.

**Figure VIII.3-14/G.8251 – Résultats de gigue large bande crête à crête de signal client ODU1 relatifs au cas 4 (modèle 2)**



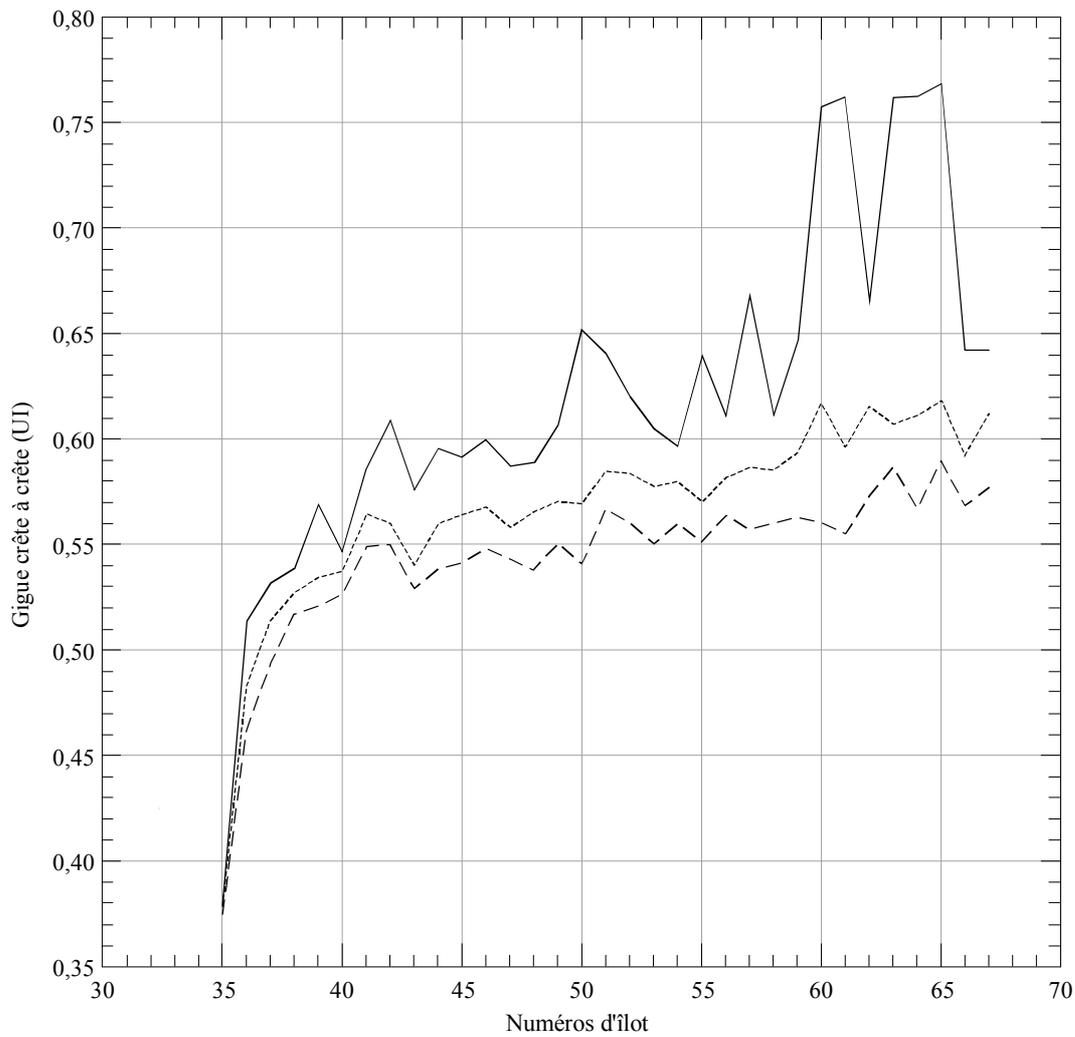
NOTE – Îlots ODU2 numérotés de 35 à 67. Désynchroniseur 300 Hz à tous les niveaux (avec crêtage de gain à 0,1dB).  
 Filtre de mesure de la gigue à 5 kHz. Autres hypothèses indiquées aux Tableaux VIII.1 et VIII.2.

**Figure VIII.3-15/G.8251 – Résultats de gigue large bande crête à crête de signal client ODU1 relatifs au cas 6 (modèle 2)**



NOTE – Ilots ODU2 numérotés de 35 à 67. Désynchroniseur 300 Hz à tous les niveaux (avec crêtage de gain à 0,1dB). Filtre de mesure de la gigue à 5 kHz. Autres hypothèses indiquées aux Tableaux VIII.1 et VIII.2.

**Figure VIII.3-16/G.8251 – Résultats de gigue large bande crête à crête de signal client ODU1 relatifs au cas 8 (modèle 2)**

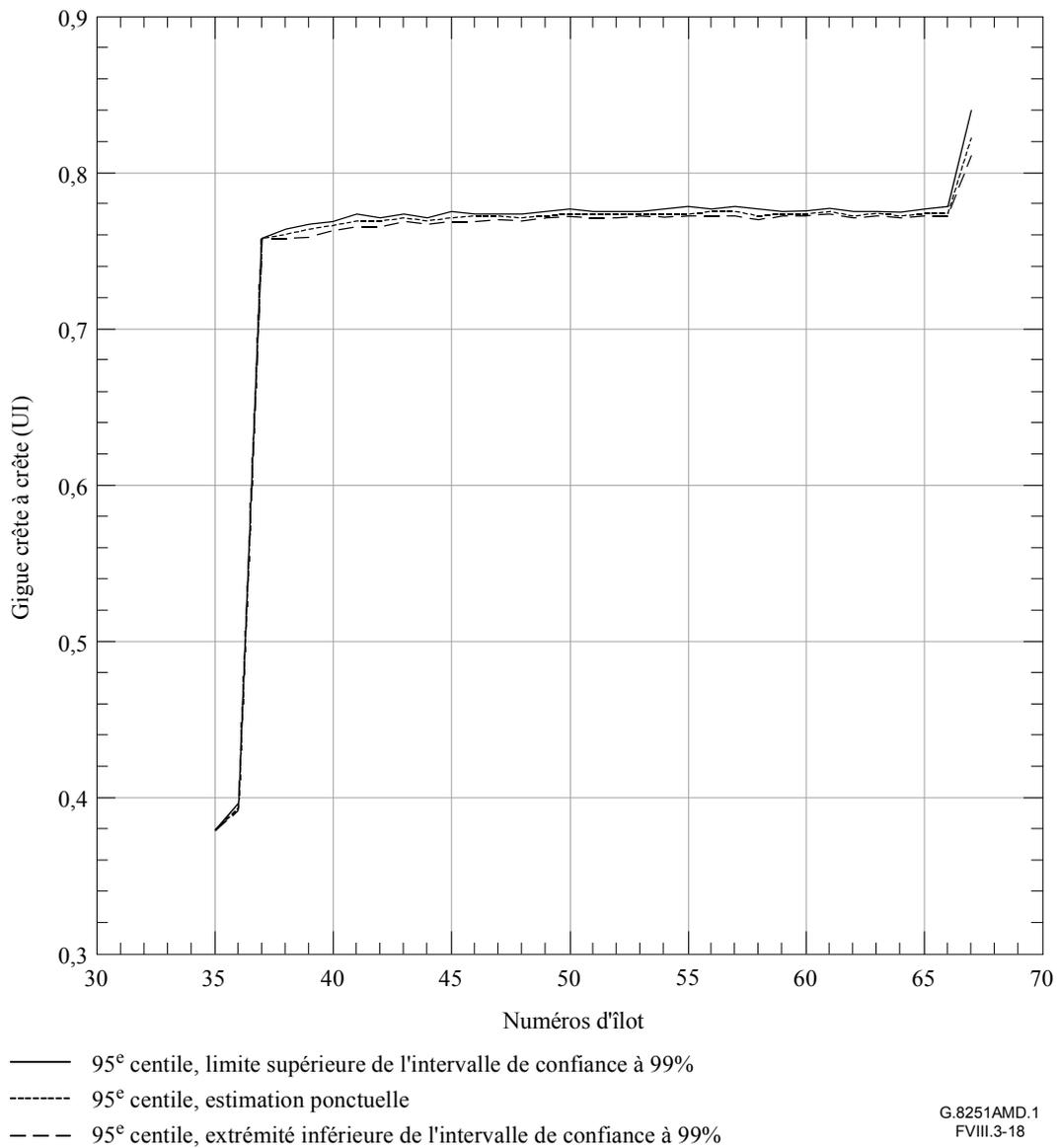


- 95° centile, limite supérieure de l'intervalle de confiance à 99%
- - - 95° centile, estimation ponctuelle
- . - 95° centile, extrémité inférieure de l'intervalle de confiance à 99%

G.8251AMD.1  
FVIII.3-17

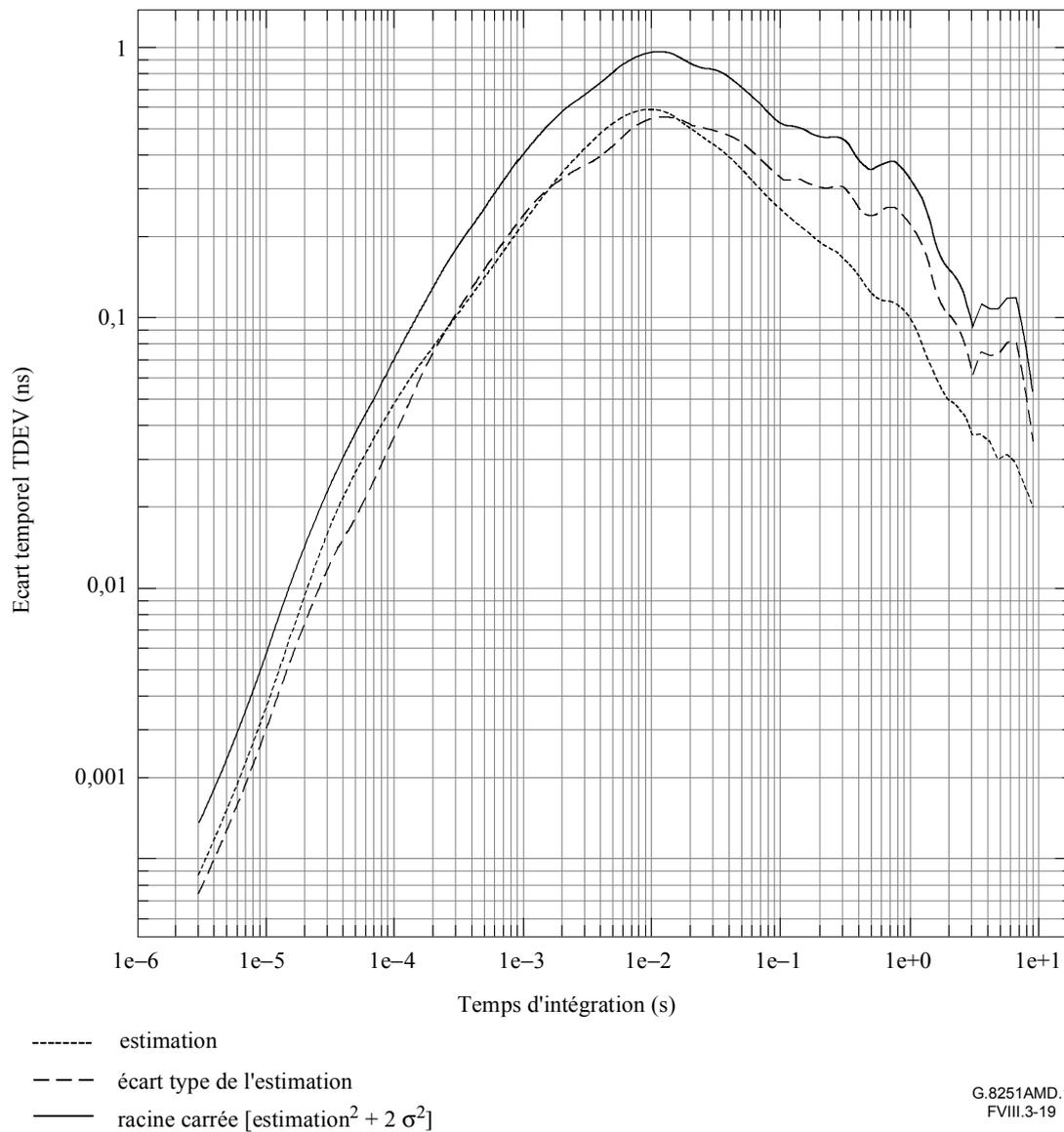
NOTE – Ilots ODU2 numérotés de 35 à 67. Désynchroniseur 300 Hz à tous les niveaux (avec crêtage de gain à 0,1dB).  
Filtre de mesure de la gigue à 5 kHz. Autres hypothèses indiquées aux Tableaux VIII.1 et VIII.2.

**Figure VIII.3-17/G.8251 – Résultats de gigue large bande crête à crête de signal client ODU1 relatifs au cas 10 (modèle 2)**



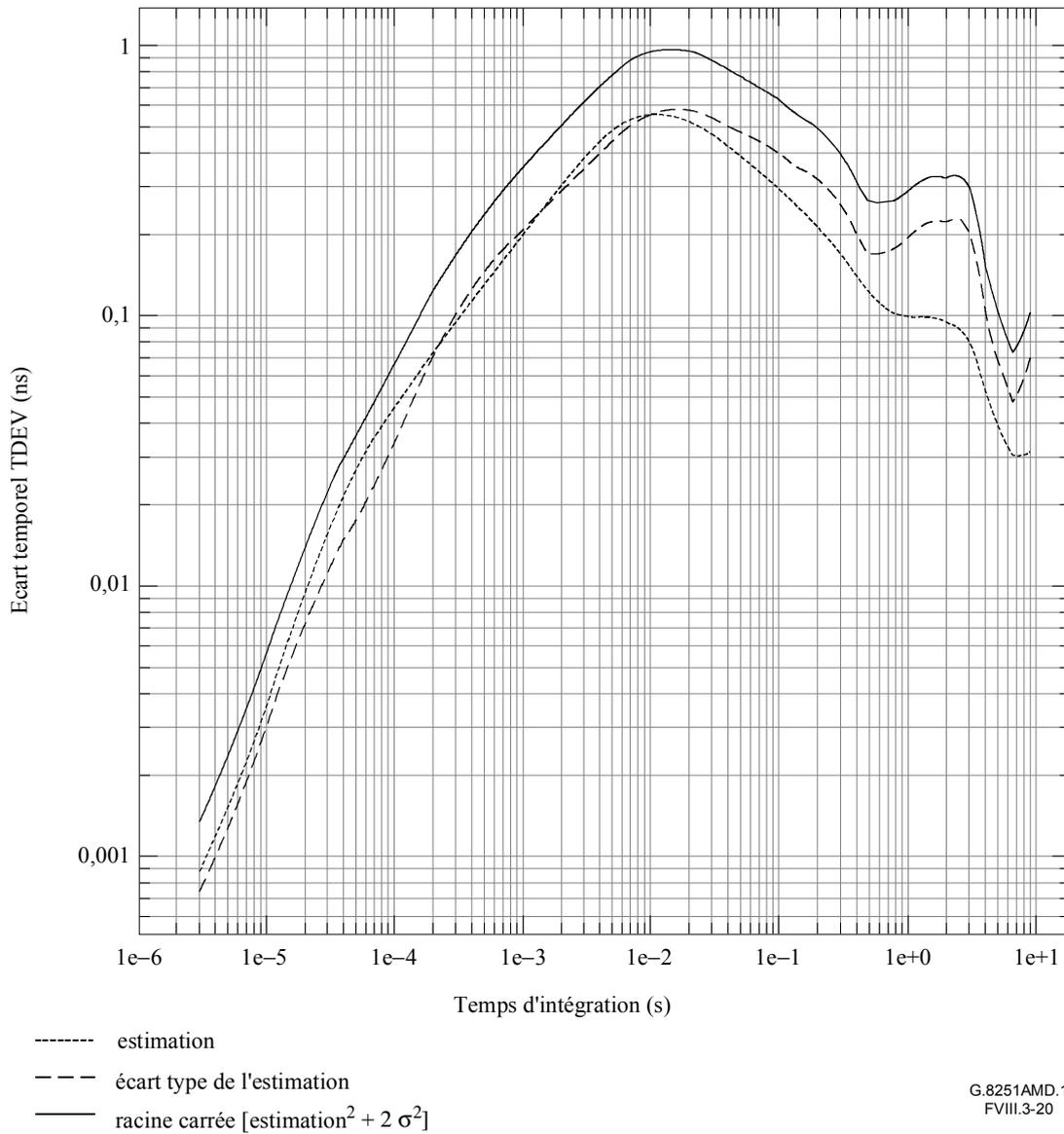
NOTE – Îlots ODU2 numérotés de 35 à 67. Désynchroniseur 300 Hz à tous les niveaux (avec crêtage de gain à 0,1dB).  
 Filtre de mesure de la gigue à 5 kHz. Autres hypothèses indiquées aux Tableaux VIII.1 et VIII.2.

**Figure VIII.3-18/G.8251 – Résultats de gigue large bande crête à crête de signal client ODU1 relatifs au cas 12 (modèle 2)**



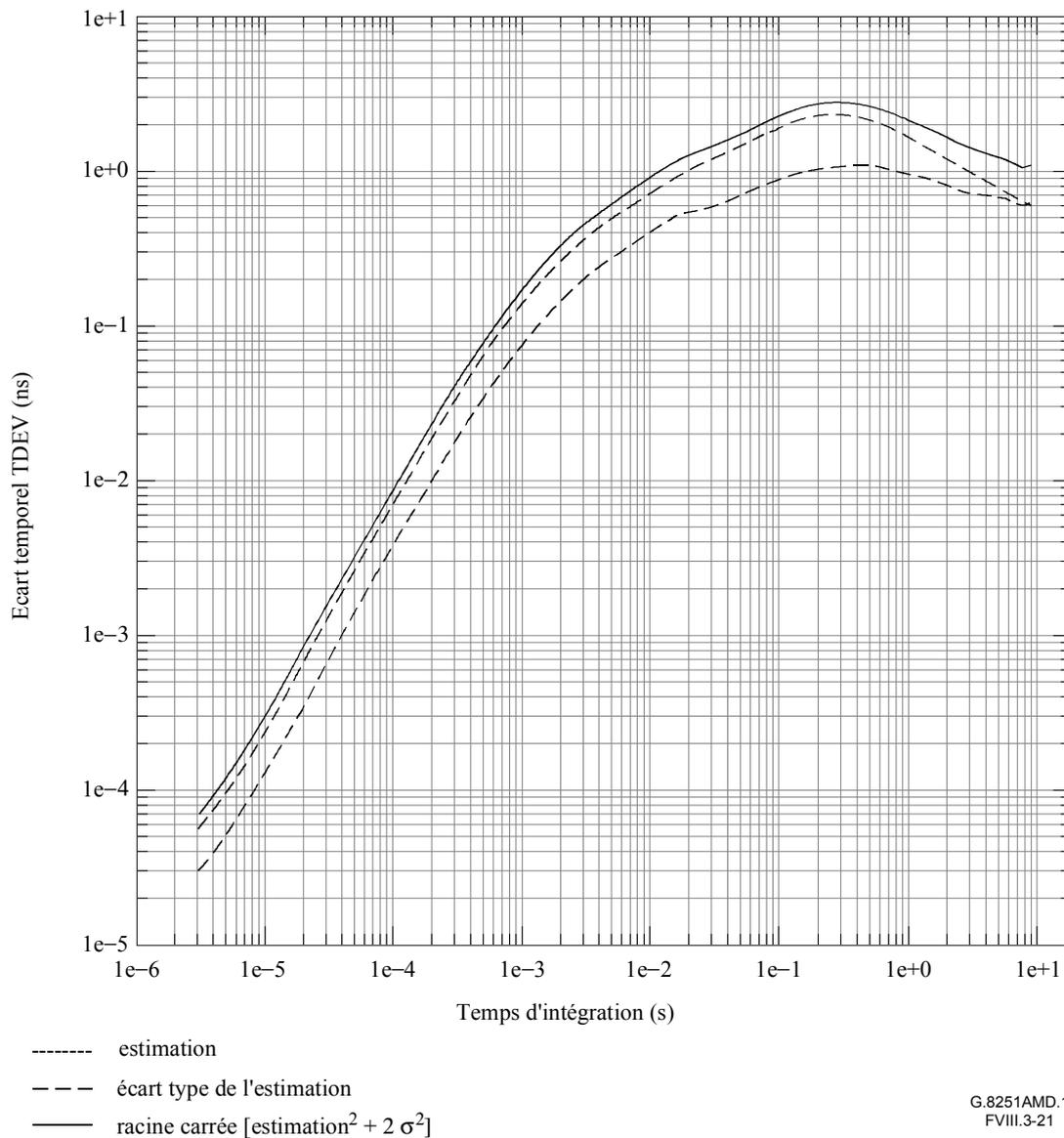
NOTE – Ilots ODU1 numérotés de 1 à 34. Désynchroniseur 300 Hz à tous les niveaux (avec crêtage de gain à 0,1dB).  
 Autres hypothèses indiquées aux Tableaux VIII.1 et VIII.2.

**Figure VIII.3-19/G.8251 – Résultats de dérapage à court terme (écart temporel TDEV) de signal client CBR2G5 relatifs au cas 1 (modèle 1)**



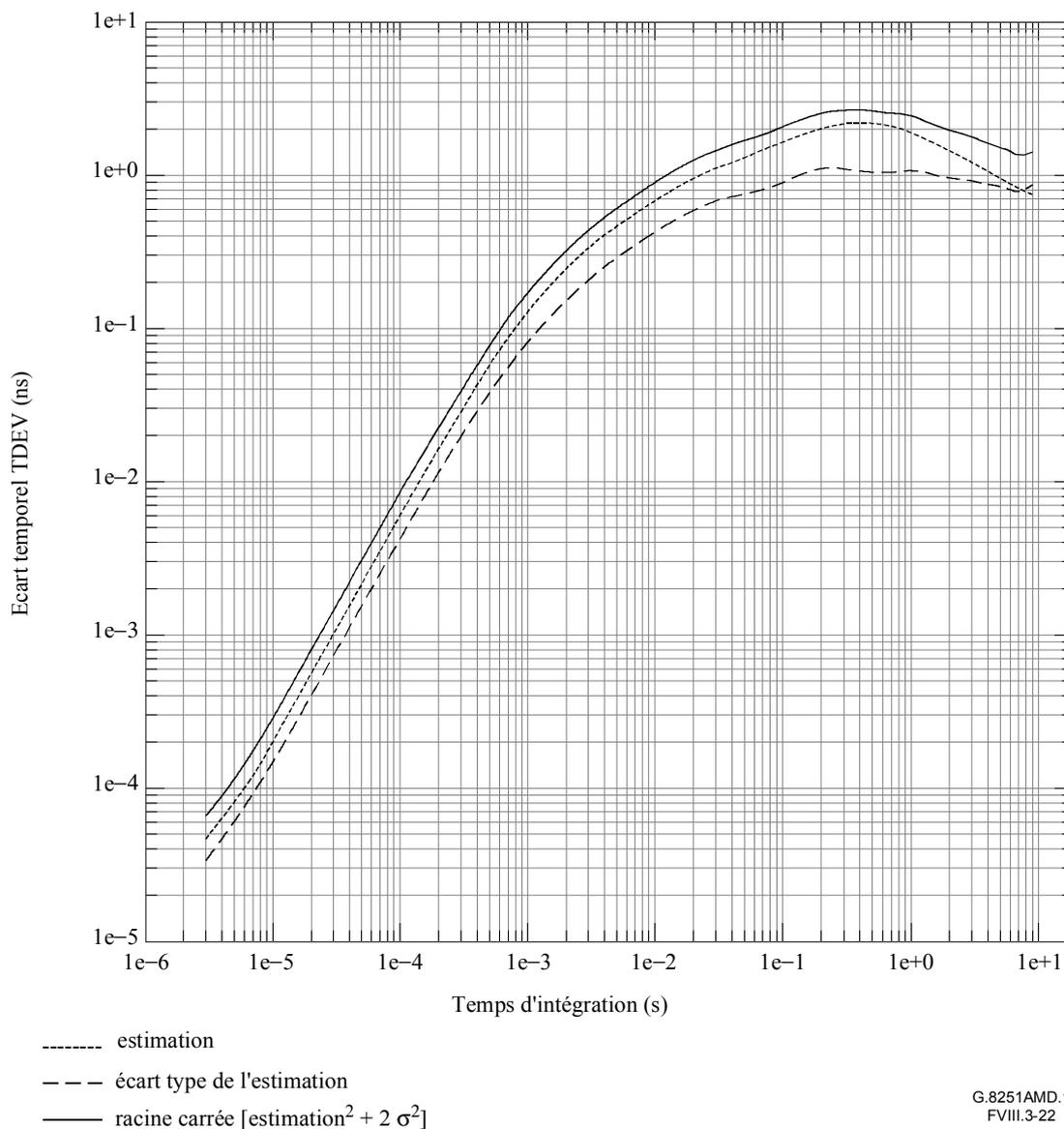
NOTE – Ilots ODU1 numérotés de 1 à 34. Désynchroniseur 300 Hz à tous les niveaux (avec crêtage de gain à 0,1dB).  
 Autres hypothèses indiquées aux Tableaux VIII.1 et VIII.2.

**Figure VIII.3-20/G.8251 – Résultats de dérapage à court terme (écart temporel TDEV) de signal client CBR2G5 relatifs au cas 2 (modèle 2)**



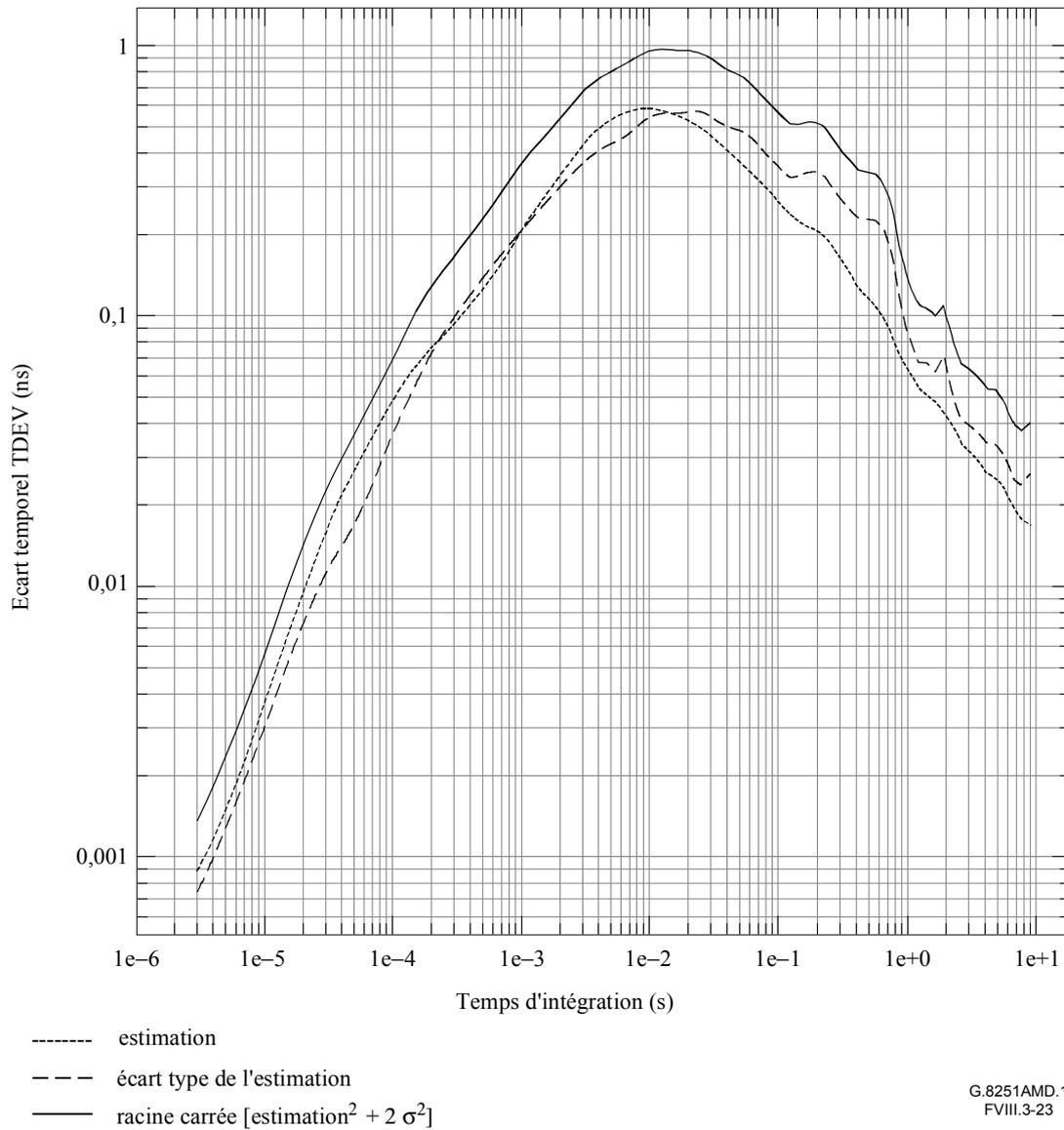
NOTE – Ilots ODU1 numérotés de 1 à 34. Désynchroniseur 300 Hz à tous les niveaux (avec crêtage de gain à 0,1dB).  
 Autres hypothèses indiquées aux Tableaux VIII.1 et VIII.2.

**Figure VIII.3-21/G.8251 – Résultats de dérapage à court terme (écart temporel TDEV) de signal client CBR2G5 relatifs au cas 3 (modèle 1)**



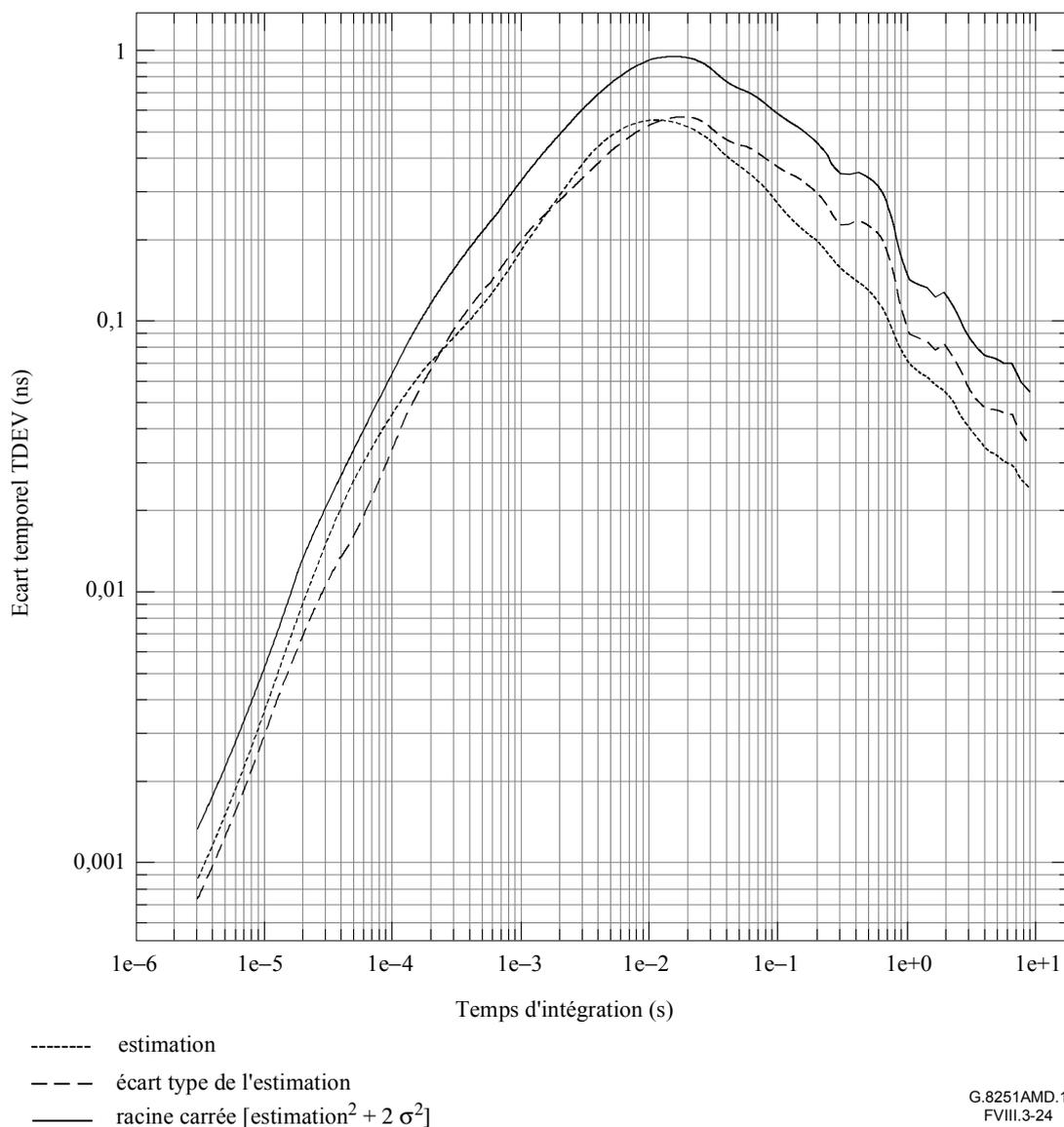
NOTE – Ilots ODU1 numérotés de 1 à 34. Désynchroniseur 300 Hz à tous les niveaux (avec crêtage de gain à 0,1dB).  
 Autres hypothèses indiquées aux Tableaux VIII.1 et VIII.2.

**Figure VIII.3-22/G.8251 – Résultats de dérapage à court terme (écart temporel TDEV) de signal client CBR2G5 relatifs au cas 4 (modèle 2)**



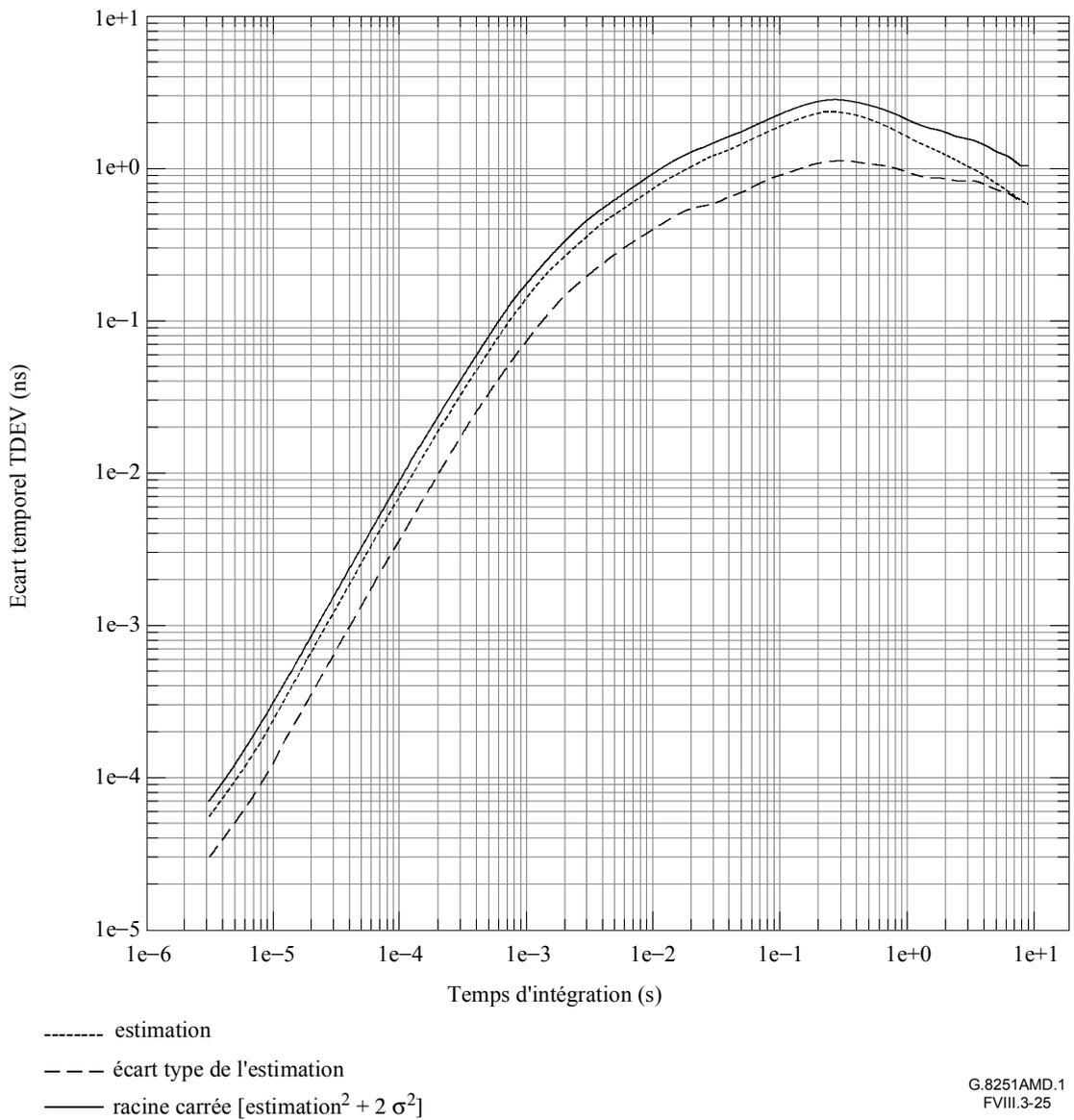
NOTE – Ilots ODU1 numérotés de 1 à 34. Désynchroniseur 300 Hz à tous les niveaux (avec crêtage de gain à 0,1dB).  
 Autres hypothèses indiquées aux Tableaux VIII.1 et VIII.2.

**Figure VIII.3-23/G.8251 – Résultats de dérapage à court terme (écart temporel TDEV) de signal client CBR2G5 relatifs au cas 5 (modèle 1)**



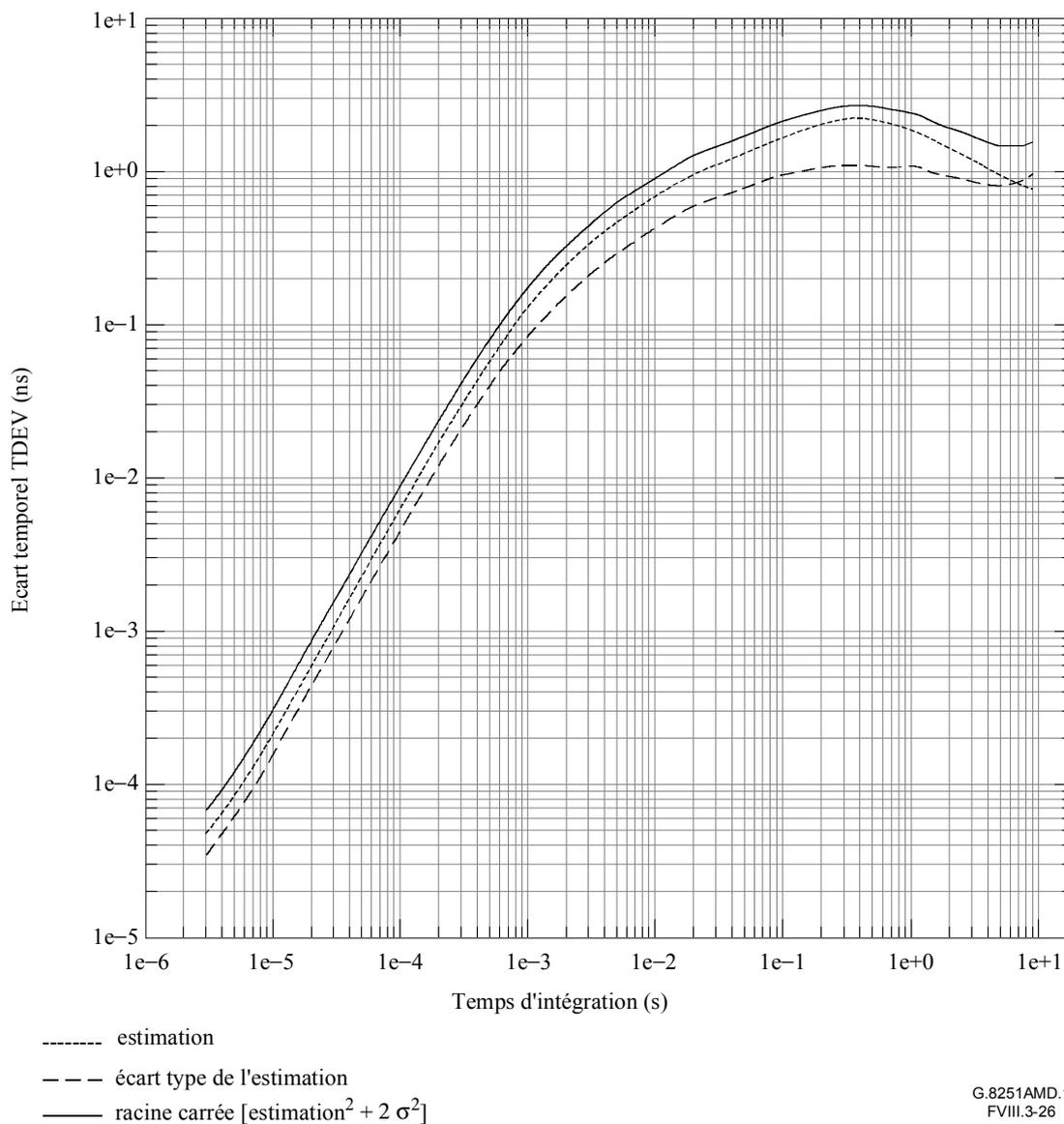
NOTE – Ilots ODU1 numérotés de 1 à 34. Désynchroniseur 300 Hz à tous les niveaux (avec crêtage de gain à 0,1dB).  
 Autres hypothèses indiquées aux Tableaux VIII.1 et VIII.2.

**Figure VIII.3-24/G.8251 – Résultats de dérapage à court terme (écart temporel TDEV) de signal client CBR2G5 relatifs au cas 6 (modèle 2)**



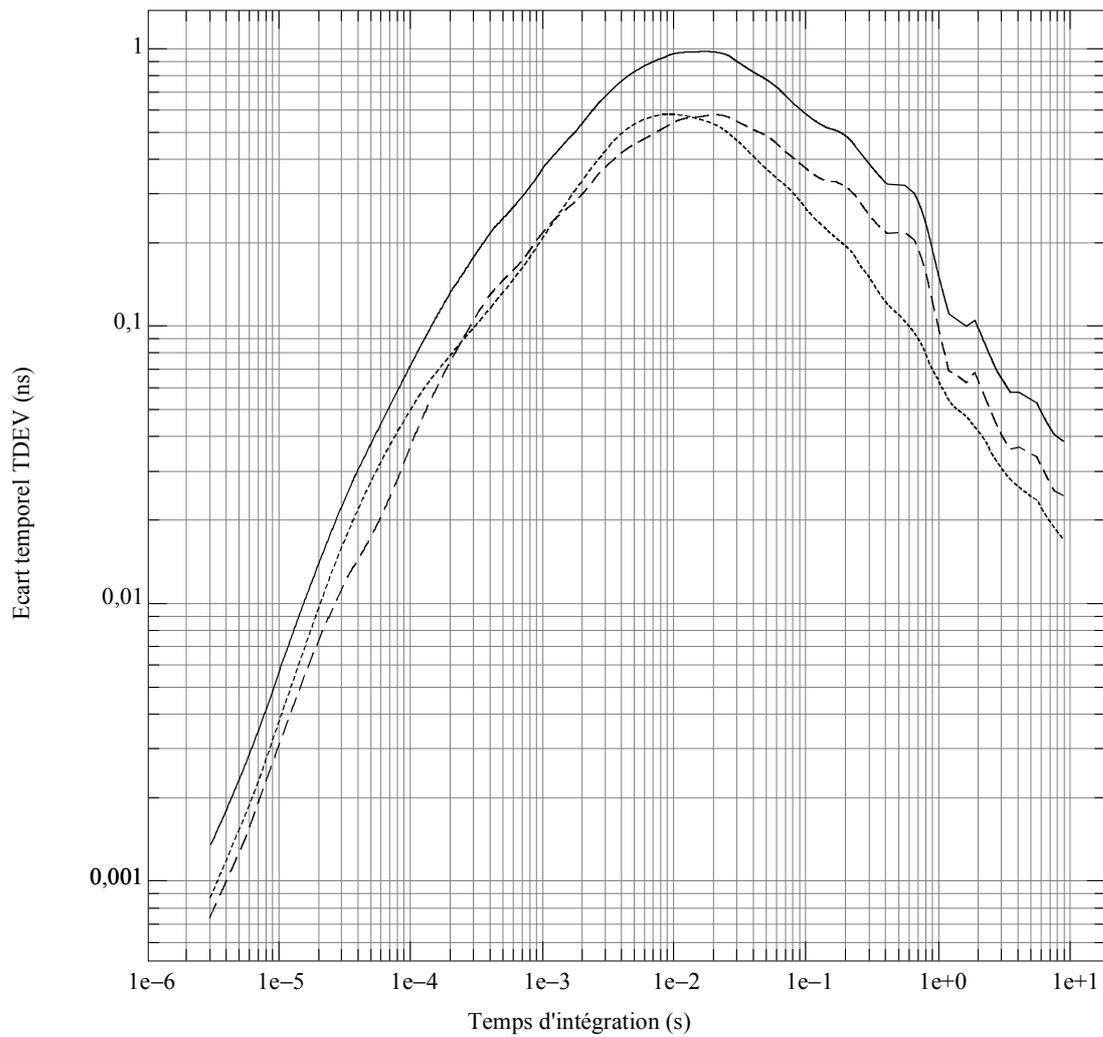
NOTE – Ilots ODU1 numérotés de 1 à 34. Désynchroniseur 300 Hz à tous les niveaux (avec crêtage de gain à 0,1dB).  
 Autres hypothèses indiquées aux Tableaux VIII.1 et VIII.2.

**Figure VIII.3-25/G.8251 – Résultats de dérapage à court terme (écart temporel TDEV) de signal client CBR2G5 relatifs au cas 7 (modèle 1)**



NOTE – Ilots ODU1 numérotés de 1 à 34. Désynchroniseur 300 Hz à tous les niveaux (avec crêtage de gain à 0,1dB).  
 Autres hypothèses indiquées aux Tableaux VIII.1 et VIII.2.

**Figure VIII.3-26/G.8251 – Résultats de dérapage à court terme (écart temporel TDEV) de signal client CBR2G5 relatifs au cas 8 (modèle 2)**

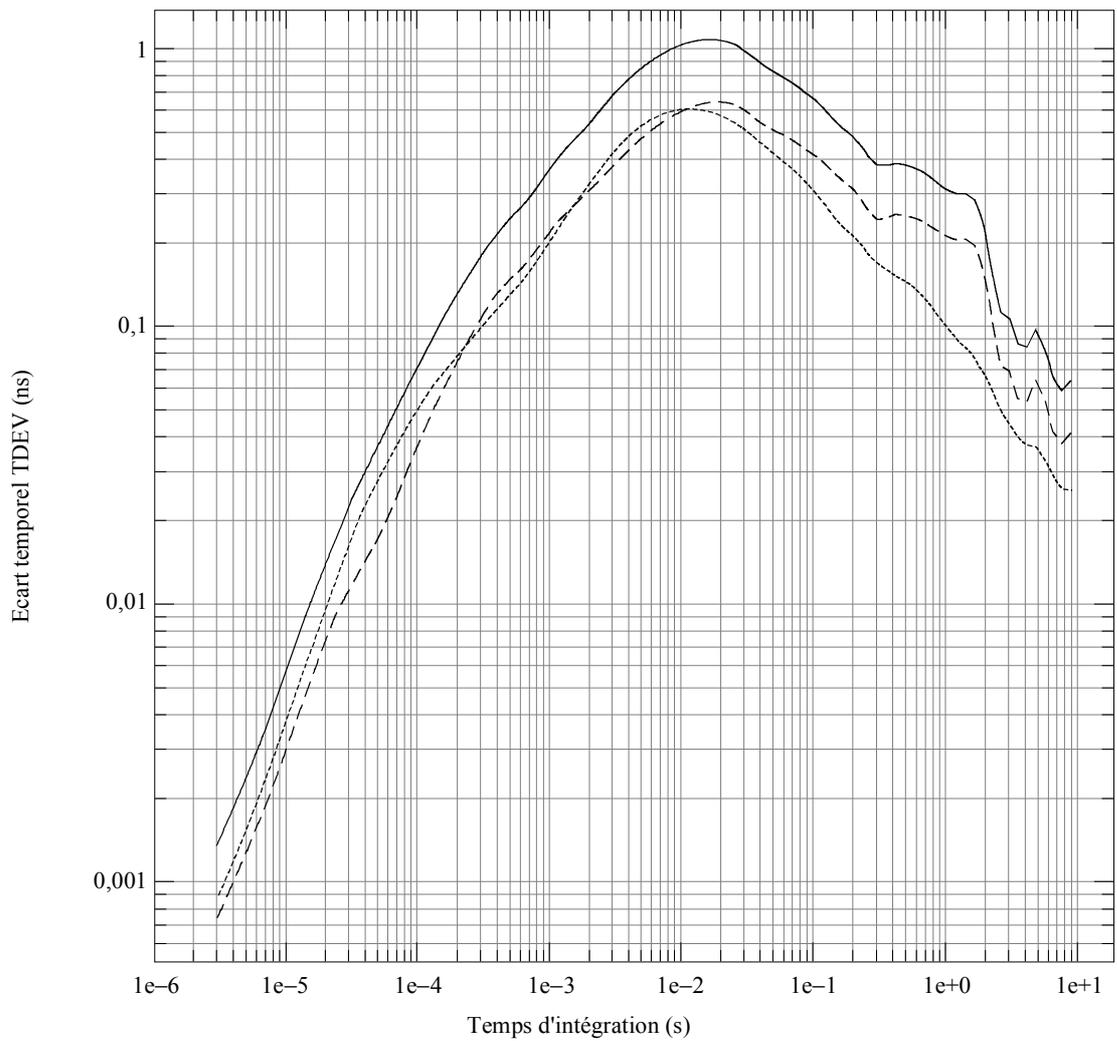


- estimation
- - - - écart type de l'estimation
- racine carrée [ $\text{estimation}^2 + 2 \sigma^2$ ]

G.8251AMD.1  
FVIII.3-27

NOTE – Ilots ODU1 numérotés de 1 à 34. Désynchroniseur 300 Hz à tous les niveaux (avec crêtage de gain à 0,1dB).  
Autres hypothèses indiquées aux Tableaux VIII.1 et VIII.2.

**Figure VIII.3-27/G.8251 – Résultats de dérapage à court terme (écart temporel TDEV) de signal client CBR2G5 relatifs au cas 9 (modèle 1)**

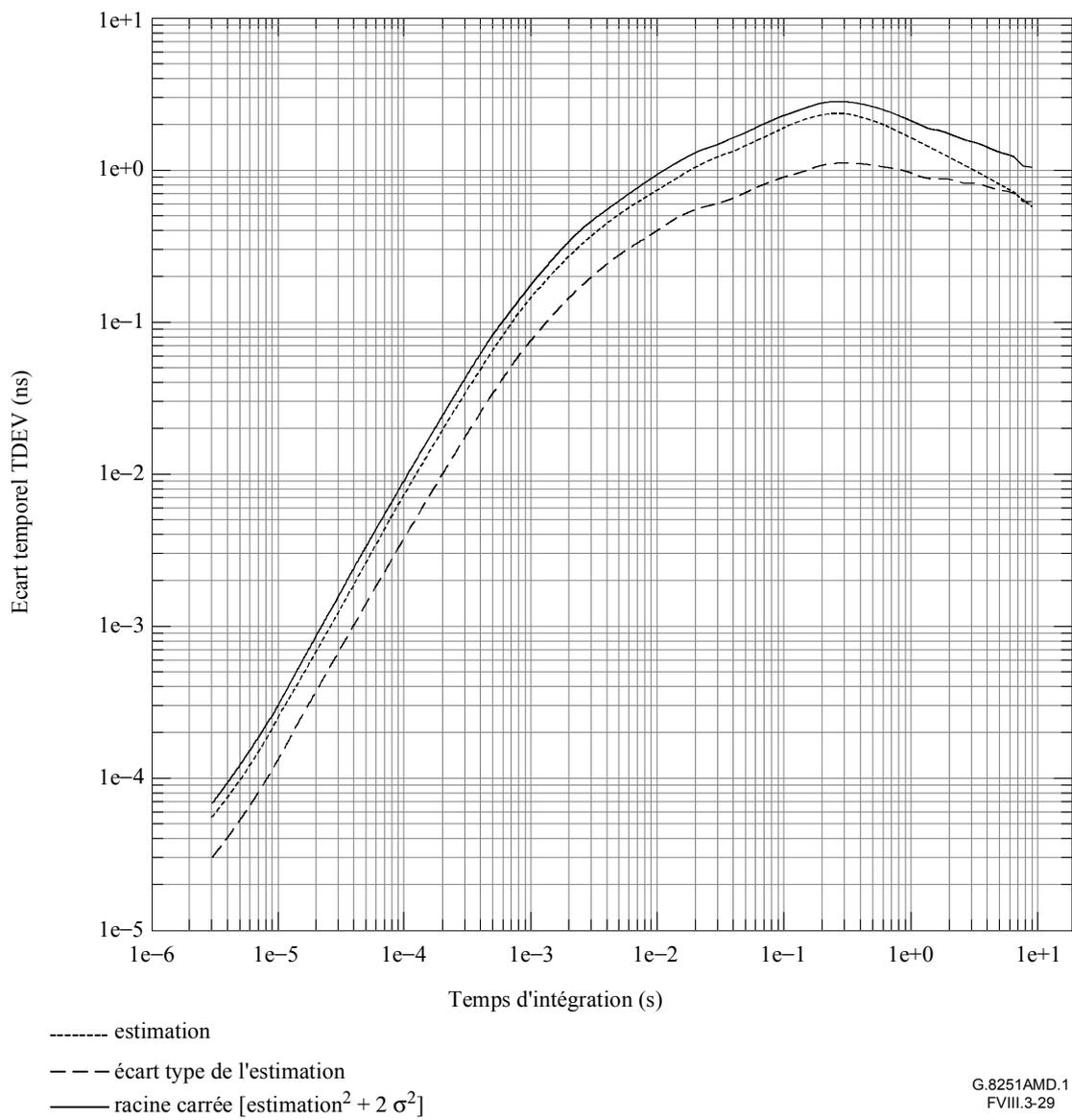


----- estimation  
 - - - écart type de l'estimation  
 ——— racine carrée [ $\text{estimation}^2 + 2 \sigma^2$ ]

G.8251AMD.1  
 FVIII.3-28

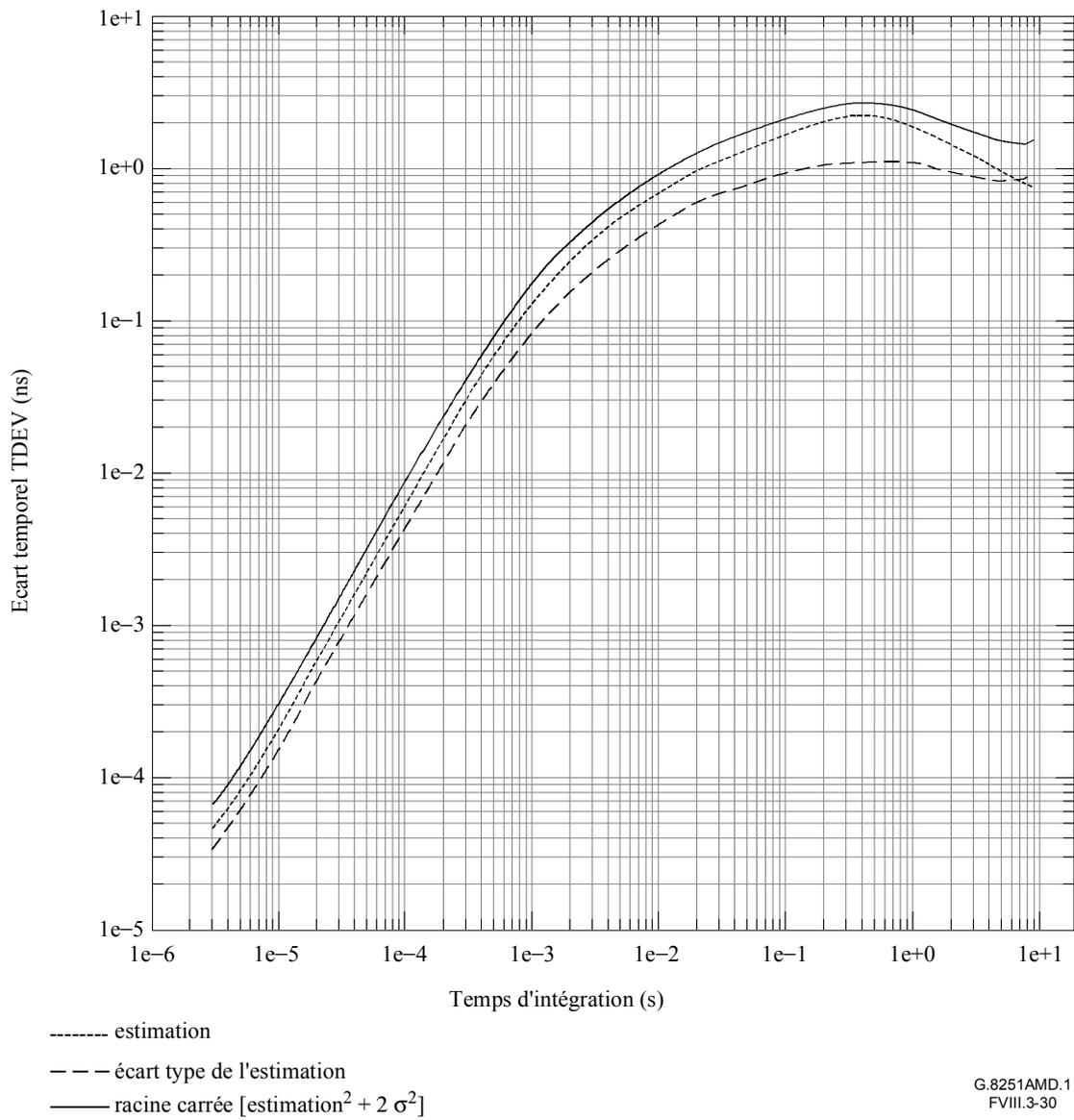
NOTE – Ilots ODU1 numérotés de 1 à 34. Désynchroniseur 300 Hz à tous les niveaux (avec crêtage de gain à 0,1dB).  
 Autres hypothèses indiquées aux Tableaux VIII.1 et VIII.2.

**Figure VIII.3-28/G.8251 – Résultats de dérapage à court terme (écart temporel TDEV) de signal client CBR2G5 relatifs au cas 10 (modèle 2)**



NOTE – Ilots ODU1 numérotés de 1 à 34. Désynchroniseur 300 Hz à tous les niveaux (avec crêtage de gain à 0,1dB).  
 Autres hypothèses indiquées aux Tableaux VIII.1 et VIII.2.

**Figure VIII.3-29/G.8251 – Résultats de dérapage à court terme (écart temporel TDEV) de signal client CBR2G5 relatifs au cas 11 (modèle 1)**



NOTE – Ilots ODU1 numérotés de 1 à 34. Désynchroniseur 300 Hz à tous les niveaux (avec crêtage de gain à 0,1dB).  
 Autres hypothèses indiquées aux Tableaux VIII.1 et VIII.2.

**Figure VIII.3-30/G.8251 – Résultats de dérapage à court terme (écart temporel TDEV) de signal client CBR2G5 relatifs au cas 12 (modèle 2)**





## 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
<b>Série G</b>	<b>Systèmes et supports de transmission, systèmes et réseaux numériques</b>
Série H	Systèmes audiovisuels et multimédias
Série I	Réseau numérique à intégration de services
Série J	Réseaux câblés et transmission des signaux radiophoniques, télévisuels et autres signaux multimédias
Série K	Protection contre les perturbations
Série L	Construction, installation et protection des câbles et autres éléments des installations extérieures
Série M	RGT et maintenance des réseaux: systèmes de transmission, circuits téléphoniques, télégraphie, télécopie et circuits loués internationaux
Série N	Maintenance: circuits internationaux de transmission radiophonique et télévisuelle
Série O	Spécifications des appareils de mesure
Série P	Qualité de transmission téléphonique, installations téléphoniques et réseaux locaux
Série Q	Commutation et signalisation
Série R	Transmission télégraphique
Série S	Equipements terminaux de télégraphie
Série T	Terminaux des services télématiques
Série U	Commutation télégraphique
Série V	Communications de données sur le réseau téléphonique
Série X	Réseaux de données et communication entre systèmes ouverts
Série Y	Infrastructure mondiale de l'information et protocole Internet
Série Z	Langages et aspects généraux logiciels des systèmes de télécommunication