

UIT-T

SECTEUR DE LA NORMALISATION
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS
DE L'UIT

G.8263/Y.1363

Amendement 2
(05/2014)

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

Aspects relatifs aux protocoles en mode paquet sur
couche Transport – Synchronisation, objectifs de qualité et
de disponibilité

**SÉRIE Y: INFRASTRUCTURE MONDIALE DE
L'INFORMATION, PROTOCOLE INTERNET ET
RÉSEAUX DE PROCHAINE GÉNÉRATION**

Aspects relatifs au protocole Internet – Transport

**Caractéristiques de synchronisation des horloges
d'équipement en mode paquet**

Amendement 2

Recommandation UIT-T G.8263/Y.1363 (2012) –
Amendement 2

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

CONNEXIONS ET CIRCUITS TÉLÉPHONIQUES INTERNATIONAUX	G.100–G.199
CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES COMMUNES À TOUS LES SYSTÈMES ANALOGIQUES À COURANTS PORTEURS	G.200–G.299
CARACTÉRISTIQUES INDIVIDUELLES DES SYSTÈMES TÉLÉPHONIQUES INTERNATIONAUX À COURANTS PORTEURS SUR LIGNES MÉTALLIQUES	G.300–G.399
CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DES SYSTÈMES TÉLÉPHONIQUES INTERNATIONAUX HERTZIENS OU À SATELLITES ET INTERCONNEXION AVEC LES SYSTÈMES SUR LIGNES MÉTALLIQUES	G.400–G.449
COORDINATION DE LA RADIOTÉLÉPHONIE ET DE LA TÉLÉPHONIE SUR LIGNES	G.450–G.499
CARACTÉRISTIQUES DES SUPPORTS DE TRANSMISSION ET DES SYSTÈMES OPTIQUES	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 MULTIMÉDIA – ASPECTS GÉNÉRIQUES ET ASPECTS LIÉS À L'UTILISATEUR	G.1000–G.1999
CARACTÉRISTIQUES DES SUPPORTS DE TRANSMISSION	G.6000–G.6999
DONNÉES SUR COUCHE TRANSPORT – ASPECTS GÉNÉRIQUES	G.7000–G.7999
ASPECTS RELATIFS AUX PROTOCOLES EN MODE PAQUET SUR COUCHE TRANSPORT	G.8000–G.8999
Aspects relatifs au protocole Ethernet sur couche Transport	G.8000–G.8099
Aspects relatifs au protocole MPLS sur couche Transport	G.8100–G.8199
Synchronisation, objectifs de qualité et de disponibilité	G.8200–G.8299
Gestion des services	G.8600–G.8699
RÉSEAUX D'ACCÈS	G.9000–G.9999

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

Recommandation UIT-T G.8263/Y.1363

Caractéristiques de synchronisation des horloges d'équipement en mode paquet

Amendement 2

Résumé

L'amendement 2 à la Recommandation UIT-T G.8263/Y.1363 (2012) ajoute du texte à l'Appendice IV intitulé "Tolérance du bruit causé par la variation du temps de transmission des paquets – méthode d'essai" qui a précédemment été noté comme devant "faire l'objet d'un complément d'étude". Il remplace aussi une phrase du § 7.1 et y ajoute une note.

Historique

Edition	Recommandation	Approbation	Commission d'études	ID unique*
1.0	ITU-T G.8263/Y.1363	2012-02-13	15	11.1002/1000/11524
1.1	ITU-T G.8263/Y.1363 (2012) Amd. 1	2013-08-29	15	11.1002/1000/12014
1.2	ITU-T G.8263/Y.1363 (2012) Amd. 2	2014-05-14	15	11.1002/1000/12191

* Pour accéder à la Recommandation, reporter cet URL <http://handle.itu.int/> dans votre navigateur Web, suivi de l'identifiant unique, par exemple <http://handle.itu.int/11.1002/1000/11830-en>.

AVANT-PROPOS

L'Union internationale des télécommunications (UIT) est une institution spécialisée des Nations Unies dans le domaine des télécommunications et des technologies de l'information et de la communication (ICT). Le Secteur de la normalisation des télécommunications (UIT-T) est un organe permanent de l'UIT. Il est chargé de l'étude des questions techniques, d'exploitation et de tarification, et émet à ce sujet des Recommandations en vue de la normalisation des télécommunications à l'échelle mondiale.

L'Assemblée mondiale de normalisation des télécommunications (AMNT), qui se réunit tous les quatre ans, détermine les thèmes d'étude à traiter par les Commissions d'études de l'UIT-T, lesquelles élaborent en retour des Recommandations sur ces thèmes.

L'approbation des Recommandations par les Membres de l'UIT-T s'effectue selon la procédure définie dans la Résolution 1 de l'AMNT.

Dans certains secteurs des technologies de l'information qui correspondent à la sphère de compétence de l'UIT-T, les normes nécessaires se préparent en collaboration avec l'ISO et la CEI.

NOTE

Dans la présente Recommandation, l'expression "Administration" est utilisée pour désigner de façon abrégée aussi bien une administration de télécommunications qu'une exploitation reconnue.

Le respect de cette Recommandation se fait à titre volontaire. Cependant, il se peut que la Recommandation contienne certaines dispositions obligatoires (pour assurer, par exemple, l'interopérabilité et l'applicabilité) et considère que la Recommandation est respectée lorsque toutes ces dispositions sont observées. Le futur d'obligation et les autres moyens d'expression de l'obligation comme le verbe "devoir" ainsi que leurs formes négatives servent à énoncer des prescriptions. L'utilisation de ces formes ne signifie pas qu'il est obligatoire de respecter la Recommandation.

DROITS DE PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

L'UIT attire l'attention sur la possibilité que l'application ou la mise en œuvre de la présente Recommandation puisse donner lieu à l'utilisation d'un droit de propriété intellectuelle. L'UIT ne prend pas position en ce qui concerne l'existence, la validité ou l'applicabilité des droits de propriété intellectuelle, qu'ils soient revendiqués par un membre de l'UIT ou par une tierce partie étrangère à la procédure d'élaboration des Recommandations.

A la date d'approbation de la présente Recommandation, l'UIT avait 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 développeurs de consulter la base de données des brevets du TSB sous <http://www.itu.int/ITU-T/ipr/>.

© UIT 2016

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.

Recommandation UIT-T G.8263/Y.1363

Caractéristiques de synchronisation des horloges d'équipement en mode paquet

Amendement 2

1) Paragraphe 7.1 intitulé "Horloge d'équipement en mode paquet asservie en fréquence"

Remplacer le texte suivant:

L'horloge PEC-S-F doit tolérer les limites de bruit indiquées au § 8 de la référence [UIT-T G.8261.1] (limites de la variation PDV dans le réseau au point C).

par:

L'horloge PEC-S-F doit tolérer les limites de bruit indiquées au § 8.1.1 de la référence [UIT-T G.8261.1] (limites de la variation PDV dans le réseau au point C).

Ajouter la nouvelle la Note 4 suivante après la Note 3.

NOTE 4 – Comme décrit au § 8.1.2 de la référence [UIT-T G.8261.1], de nombreux réseaux peuvent avoir une variation du temps de transmission des paquets inférieure à la limite dans le réseau pour le modèle HRM-1 spécifié au § 8.1.1 de la référence [UIT-T G.8261.1]. La présente Recommandation définit un seul type d'horloge asservie en mode paquet qui peut être utilisé avec le modèle HRM-1, comme décrit au § 8.1.1 de la référence [UIT-T G.8261.1]. Certains opérateurs peuvent décider d'employer un type différent d'horloge asservie en mode paquet lorsque leur limites dans le réseau concordent avec celles du § 8.1.2 de la référence [UIT-T G.8261.1]. Cet autre type d'horloge asservie en mode paquet doit faire l'objet d'un complément d'étude.

2) Appendice I

Remplacer l'Appendice I en entier par le texte ci-après.

Appendice I

Tolérance du bruit causé par la variation du temps de transmission des paquets – méthode d'essai

(Cet Appendice ne fait pas partie intégrante de la présente Recommandation.)

Tandis que des signaux d'essai appropriés qui permettent de vérifier la conformité avec les gabarits de la référence [UIT-T G.8261.1] (cas 3 de la référence [UIT-T G.8261.1], comme défini au point de référence D dans la Figure 3 de la référence [UIT-T G.8261.1]), sont en cours d'étude, les méthodes décrites au § I.2 ci-dessous peuvent être employées pour mettre au point des configurations d'essai appropriées à la variation du temps de transmission des paquets. A cet effet, le gabarit applicable est celui qui figure dans le Tableau 1 et dans la Figure 4 de la référence [UIT-T G.8261.1]. Aucun autre gabarit ne convient.

Ces méthodes ne s'appliquent qu'au modèle HRM-1 de la référence [UIT-T G.8261.1]. Des méthodes convenant au modèle HRM-2 doivent faire l'objet d'un complément d'étude. D'autres méthodes de génération de signaux d'essai appropriés qui permettent de vérifier la conformité avec les gabarits de

la référence [UIT-T G.8261.1] pour le modèle HRM-1 sont aussi possibles. Cette question doit faire l'objet d'un complément d'étude.

I.1 Montage de l'essai de tolérance du bruit causé par la variation du temps de transmission des paquets

Le montage général de l'essai de tolérance du bruit causé par la variation PDV est représenté dans la Figure I.1.

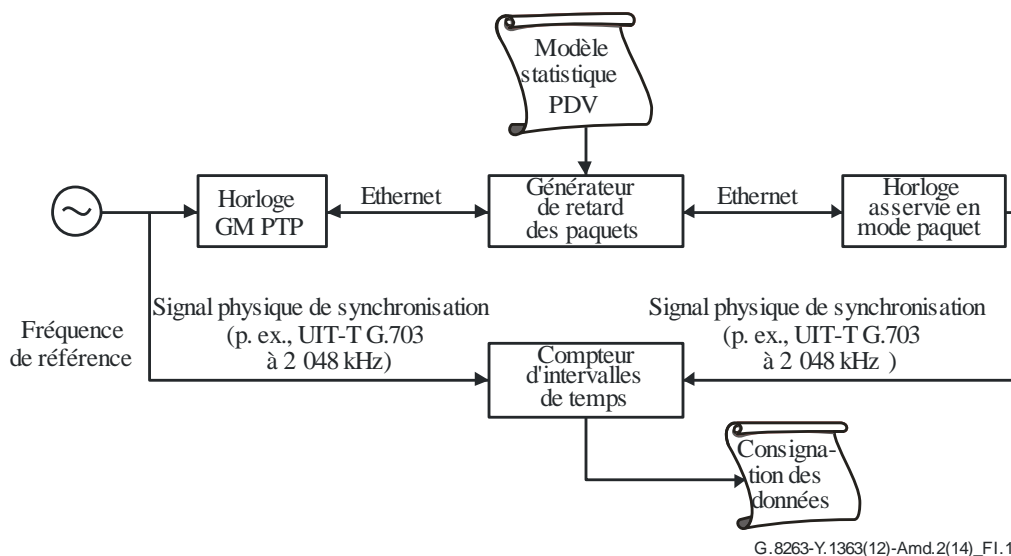


Figure I.1 – Montage de l'essai de tolérance du bruit causé par la variation PDV

L'ensemble de l'expérience est calée sur une horloge de référence fréquentielle, par exemple une horloge de référence primaire (PRC) au césium. Celle-ci sert de référence à une horloge grand maître (GM) PTP. Les messages de synchronisation produits par l'horloge GM PTP sont retardés par un générateur de retard des paquets, qui, parallèlement, retarde aussi les messages de demande de retard produits par l'horloge asservie en mode paquet.

Les séquences de retards sont obtenues au moyen d'un modèle statistique, dont les paramètres sont choisis de manière à produire une distribution des retards ayant des propriétés semblables au critère applicable aux limites dans le réseau, défini dans la référence [UIT-T G.8261.1] (c'est-à-dire, pour le modèle HRM-1, pour 1% des paquets, le retard diffère de moins de 150 μ s du retard minimum au cours de chacune des plages d'observation de 200 s). Plusieurs méthodes de production de configurations PDV appropriées sont possibles, et certaines d'entre elles sont décrites à titre d'information dans le § I.2 ci-dessous.

En général, il est recommandé que les deux séquences de retard des messages de synchronisation et des messages de demande de retard aient des propriétés semblables, qui sont obtenues au moyen du même modèle statistique, sans être identiques. Cela évite des effets de corrélation lorsque les séquences emploient des valeurs semblables au même moment.

L'horloge asservie en mode paquet émet un signal physique sortant de synchronisation (par exemple, UIT-T G.703 à 2 048 kHz) qui est comparé au signal de synchronisation provenant de la référence fréquentielle par un compteur d'intervalles de temps. Les données consignées peuvent alors être comparées au gabarit de sortie défini dans la Figure 4 de la référence [UIT-T G.8261.1] afin de vérifier la conformité de l'horloge asservie.

L'essai doit être effectué dans des conditions de température constante (± 1 K). Les essais sous la contrainte d'un environnement thermique bruyant doivent faire l'objet d'un complément d'étude.

Lors de la mesure de la tolérance PDV, la configuration d'essai PDV devrait démarrer avant que la communication entre l'horloge pilote en mode paquet et l'horloge asservie en mode paquet ne soit établie. Cet ordre des opérations garantira que l'essai PDV concernera tous les paquets "événement".

NOTE 1 – Une période de stabilisation est requise lorsque les essais PDV sont effectués sur l'horloge asservie en mode paquet, avant de vérifier si le signal sortant émis par cette horloge asservie satisfait à des limites acceptables. La durée de cette période de stabilisation doit faire l'objet d'un complément d'étude.

NOTE 2 – En général, il est supposé, lors de l'essai de tolérance PDV, que l'horloge asservie en mode paquet n'a pas connaissance, grâce aux précédentes mesures, des horloges pilote en mode paquet. Dans un montage d'essai concret, on peut prendre des mesures afin que l'horloge asservie en mode paquet ne dispose pas de ces informations antérieures. Par exemple, on peut, entre les mesures, redémarrer ou même arrêter et redémarrer l'horloge asservie en mode paquet. Toutefois, il convient de noter que dans le cas d'un arrêt et redémarrage, la période de stabilisation est susceptible d'augmenter.

NOTE 3 – Le temps d'échauffement recommandé de l'équipement devrait être respecté lorsque les essais PDV sont effectués.

I.2 Méthodes d'essai

Trois méthodes de production de configurations d'essai PDV appropriées sont décrites dans le présent paragraphe. Elles permettent de vérifier la conformité avec les gabarits qui spécifient, dans la référence [UIT-T G.8261.1], les limites PDV dans le réseau pour le modèle HRM-1:

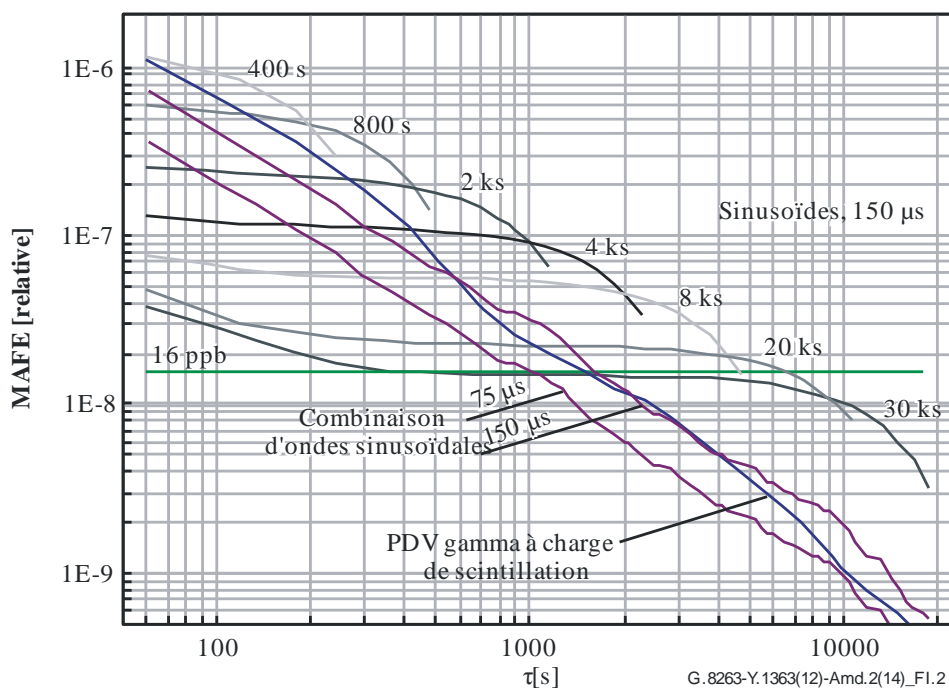
- Configurations PDV fondées sur le bruit de scintillation;
- Configurations PDV fondées sur une combinaison d'ondes sinusoïdales;
- Configurations PDV fondées sur une seule onde sinusoïdale.

Des indications détaillant les motifs pour lesquels chacune des méthodes est employée sont données dans chacun des sous-paragraphe. Le Tableau I.1 ci-après contient la synthèse des pour et des contre de chacune de ces méthodes.

Tableau I.1 – Comparaison des méthodes d'essai de tolérance du bruit PDV

Méthode	Pour	Contre
Bruit de scintillation	Essai simple de durée limitée Il reproduit certaines caractéristiques types des réseaux en mode paquet	Il ne tient pas compte des scénarios de réseau complexes ou extrêmes, par ex., avec des mouvements du retard plancher
Combinaison d'ondes sinusoïdales	Essai simple de durée limitée Il reproduit certaines caractéristiques types des réseaux en mode paquet Il intègre des mouvements du retard plancher, reproduisant les variations modérées de la charge de trafic	Il ne tient pas compte des scénarios de réseau extrêmes, par ex., avec de larges mouvements du retard plancher de faible bruit, définis par la limite dans le réseau à un moment très défavorable
Onde sinusoïdale unique (en option)	Essai sous contrainte correspondant aux scénarios les plus défavorables, à savoir des variations extrêmes de la charge (par ex., jusqu'à 100% de la capacité aux ports de sortie dans l'ensemble des nœuds du réseau), et des mouvements du retard plancher importants Il permet dans certains cas la détermination de la largeur de bande de l'horloge asservie	Essai de longue durée lorsque des fréquences basses sont employées Il ne reproduit pas les caractéristiques types des réseaux réels

La Figure I.2 donne la synthèse des courbes MAFE qui correspondent à l'erreur moyenne maximale en fréquence des configurations d'essai de retard où la sélection minimale est de 1% et la fenêtre de sélection est de 60 s. Les configurations PDV représentées par les courbes à des valeurs de τ plus élevées nécessitent une stabilité plus grande de l'horloge afin de satisfaire aux limites à la sortie de l'horloge.



NOTE – Les valeurs limites applicables dans le réseau sont indiquées en microsecondes.

Figure I.2 – Courbes MAFE des configurations d'essai

NOTE – Les configurations PDV, dans lesquelles la tolérance est la tolérance maximale admise, sont artificiellement produites à l'aide de ces méthodes. En tant que telles, elles peuvent ne pas représenter les variations PDV qui peuvent exister ou se produire dans un déploiement réel, ni les variations PDV qui pourraient résulter de l'envoi de paquets dans le réseau en mode paquet par une horloge pilote de synchronisation en mode paquet. Certaines des méthodes décrites permettant de produire des configurations PDV, en particulier la troisième (onde sinusoïdale unique), peuvent empêcher de tirer pleinement parti des avantages des techniques évoluées de filtrage. En conséquence, afin de pouvoir admettre ces configurations PDV artificielles, une largeur de bande de l'horloge plus étroite et un oscillateur local très stable sont parfois nécessaires.

I.2.1 Configurations PDV fondées sur le bruit de scintillation

La méthode de production des configurations PDV décrites dans le présent paragraphe consiste en une combinaison du bruit de scintillation avec une fonction de densité de probabilité, la distribution gamma, en tant que modèle statistique de la variation PDV.

Objectif et applicabilité

Cette méthode est fondée sur un modèle statistique simplifié, destiné à un réseau soumis à un trafic en rafales. De précédentes études sur le trafic Internet ($[x]$, $[y]$) ont révélé que la distribution du trafic peut comporter des rafales à des échelles très différentes, et que ce comportement auto-homothétique peut être reproduit en employant le bruit de scintillation pour moduler la charge de trafic. Il a aussi pu être démontré que l'action de mise en file d'attente d'un commutateur ou d'un routeur de paquets impose que la fonction de densité de probabilité des retards au niveau du commutateur ou du routeur soit une distribution gamma.

Le modèle statistique résultant est représenté sous la forme d'un diagramme dans la Figure I.3:

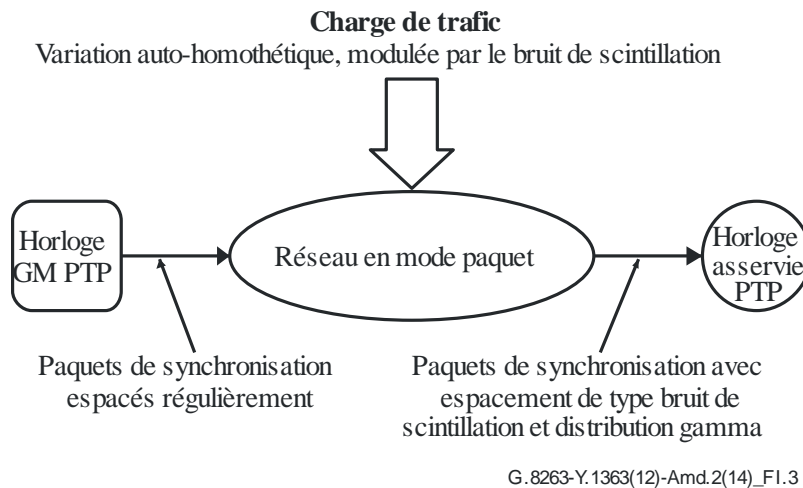


Figure I.3 – Modèle statistique de la variation PDV pour les paquets de synchronisation

Il n'incorpore pas les transitoires potentiels qui pourraient se produire dans les réseaux en mode paquet, tels que les paliers ou les variations du retard plancher. En outre, il peut ne pas modéliser avec précision un réseau dont le trafic est principalement exempt de rafales (par exemple, le trafic à débit CBR).

Cette méthode est donc considérée comme convenant en tant qu'essai minimal pour caractériser la tolérance de bruit d'une horloge asservie en mode paquet. Des essais supplémentaires sont recommandés pour garantir que l'horloge asservie en mode paquet tolérera des situations de réseau plus complexes avec des transitoires.

Paramètres et exemple

Les paramètres de la configuration PDV, y compris l'écart-type de la configuration de scintillation et les paramètres α (alpha) et β (beta) de la fonction gamma, sont associés aux caractéristiques physiques du réseau, telles que la charge totale appliquée au réseau, la charge individuelle appliquée au port de sortie de chacun des commutateurs et le nombre de commutateurs dans le réseau.

La procédure permettant de définir une séquence PDV consiste en les étapes suivantes:

- 1) Produire une séquence de scintillation, qui corresponde à des valeurs de charge comprises entre 0 et 100%.
- 2) Traduire les différentes valeurs de charge contenues dans la séquence de scintillation par des distributions PDV, spécifiées par α , β et ρ .

Production de la séquence de scintillation contenant les valeurs de charge

La séquence de scintillation correspondant aux valeurs de charge est produite au moyen de la technique de Barnes, Jarvis et Greenhall. Cette technique est décrite dans la référence [b-Barnes & Greenhall]. Des détails supplémentaires et des généralisations sont donnés dans les références [b-Barnes & Jarvis] et [b-Corsini & Saletti]. Dans cette technique, une séquence d'échantillons aléatoires indépendants et également répartis est envoyée dans un banc de filtres avance/retard placés en cascade, qui ont une réponse en fréquence approximativement donnée par une fonction de transfert inversement proportionnelle à la racine carrée de f , à savoir:

$$H(f) = \frac{1}{\sqrt{f}} \quad (\text{I-1})$$

où f est la fréquence de Fourier et $H(f)$ est la réponse en fréquence. Si un bruit blanc, de densité spectrale de puissance (PSD) constante A , est introduit dans ce filtre, la densité spectrale de puissance à la sortie est la suivante:

$$S_{out}(f) = |H(f)|^2 A = \frac{A}{f} \quad (\text{I-2})$$

La densité PSD obtenue au moyen de l'équation (I-2), proportionnelle à $1/f$, correspond au bruit de scintillation.

Le banc de filtres avance/retard est parfois nommé filtre de Barnes/Jarvis/Greenhall, et chacun des filtres avance/retard du banc est parfois nommé palier du filtre de Barnes/Jarvis/Greenhall. Le gain à chaque palier est approximativement constant tant à basses fréquences qu'à hautes fréquences. Le gain à basses fréquences est supérieur au gain à hautes fréquences, alors que la transition entre les régions à basses et à hautes fréquences est de -20 dB/décade. Cela conduit à une réponse en fréquence pour le filtre de Barnes/Jarvis/Greenhall qui ressemble à une suite de paliers, à savoir des niveaux constants, reliés par des pentes de -20 dB/décade. L'espacement des pôles et des zéros des paliers est choisi de manière que le gain soit inversement proportionnel à la racine carrée de la fréquence. Le nombre de paliers et l'espacement des pôles et des zéros déterminent la gamme de fréquences dans laquelle le filtre opère, donc le filtre est mis en œuvre dans le domaine discret (voir ci-dessous) et opère dans une gamme de fréquences finie. Finalement, la fonction de transfert du filtre est multipliée par une constante dont la valeur est choisie pour atteindre le niveau souhaité (c'est-à-dire, dans l'équation (I-1), l'amplitude de la réponse en fréquence est égale à 1 pour $f = 1$ Hz).

Le filtre de Barnes/Jarvis/Greenhall emploie, comme il apparaît ci-dessous, des valeurs de temps discrètes (voir la référence [b-Barnes & Jarvis]). Soit M le nombre de paliers, et $Y_n^{(k)}$ l'état du palier k pour un palier temporel n . Les équations d'état du filtre en temps discret sont les suivantes:

$$\begin{aligned} Y_n^{(1)} &= \phi^{(1)} Y_{n-1}^{(1)} + P_n \\ Y_n^{(2)} &= \phi^{(2)} Y_{n-1}^{(2)} + Y_n^{(1)} - \theta^{(2)} Y_{n-1}^{(1)} \\ &\vdots \\ Y_n^{(k)} &= \phi^{(k)} Y_{n-1}^{(k)} + Y_n^{(k-1)} - \theta^{(k)} Y_{n-1}^{(k-1)} \\ &\vdots \\ Y_n^{(M)} &= \phi^{(M)} Y_{n-1}^{(M)} + Y_n^{(M-1)} - \theta^{(M)} Y_{n-1}^{(M-1)} \end{aligned} \quad (\text{I-3})$$

Les états du filtre sont initialement réglés sur zéro, à savoir:

$$Y_0^{(k)} = 0, \quad k = 1, 2, \dots, M \quad (\text{I-4})$$

Les coefficients du filtre sont donnés par les équations suivantes:

$$\begin{aligned}
 R &= 2,5 \\
 \phi^{(1)} &= 0,13 \\
 \omega^{(1)} &= \frac{1 - \phi^{(1)}}{\sqrt{\phi^{(1)}}} \\
 \text{et pour } k &= 1, 2, \dots, M : \\
 \omega^{(k)} &= \frac{\omega^{(1)}}{R^{k-1}} \\
 \theta^{(k)} &= 1 + \frac{\omega^{(k)} \left[\omega^{(k)} - \sqrt{(\omega^{(k)})^2 + 4} \right]}{2} \\
 \mu^{(k)} &= \frac{\omega^{(k)}}{R} \\
 \phi^{(k)} &= 1 + \frac{\mu^{(k)} \left[\mu^{(k)} - \sqrt{(\mu^{(k)})^2 + 4} \right]}{2}
 \end{aligned} \tag{I-5}$$

L'échantillon sortant du dernier palier, $Y_k^{(M)}$, est le processus de bruit de scintillation. Les P_n sont des échantillons d'un processus de bruit blanc à temps discret et à moyenne nulle. L'écart-type de ce processus correspond au niveau du processus de bruit de scintillation. La grandeur R correspond à l'espacement entre les pôles et les zéros successifs. Il a été observé que le choix de $R = 2,5$ et de $M = 8$ a produit un bruit de scintillation sur plus de cinq décades de temps. Cela a été vérifié en simulant le bruit de scintillation avec ces valeurs de R et de M (et $\phi^{(1)} = 0,13$), en déterminant la statistique de l'écart TDEV et en vérifiant que cet écart TDEV correspond à un bruit de scintillation (c'est-à-dire, est approximativement constant sur l'étendue de la plage d'observation).

Ce qui précède indique que le processus des P_n est blanc, à savoir que les échantillons successifs sont statistiquement indépendants. Dans de nombreuses applications, les P_n sont aussi gaussiens. Toutefois, dans le cas présent, il est opportun de considérer que les P_n suivent une distribution de probabilité qui est uniforme sur l'intervalle $[0,1]$. Il est souhaitable que les valeurs de charge soient aussi comprises dans cet intervalle (à savoir, 0% – 100%). Cependant, en choisissant des P_n situés dans l'intervalle $[0,1]$, il n'est pas garanti que l'échantillon sortant du filtre de Barnes/Jarvis/Greenhall (c'est-à-dire $Y_n^{(M)}$) soit aussi dans cet intervalle. Mais les valeurs de charge qui sont comprises dans l'intervalle $[0,1]$ peuvent être obtenues comme suit au moyen d'une mise à échelle des $Y_n^{(M)}$. Supposons que le filtre de Barnes/Jarvis/Greenhall ait été utilisé pour produire N échantillons de bruit de scintillation $Y_n^{(M)}$, $n = 1, 2, 3, \dots, N$. Soit $Y_{\max}^{(M)}$ et $Y_{\min}^{(M)}$ les échantillons maximal et minimal, respectivement. Alors la valeur de charge, $X_n^{(M)}$, correspondant au $n^{\text{ième}}$ échantillon, est donnée par la formule suivante:

$$X_k^M = \frac{Y_k^M - Y_{\min}^M}{Y_{\max}^M - Y_{\min}^M} = 100 \cdot \frac{Y_k^M - Y_{\min}^M}{Y_{\max}^M - Y_{\min}^M} \% \tag{I-6}$$

Il convient de noter que, pour cette méthode de mise à échelle des valeurs des échantillons sortants du filtre de Barnes/Jarvis/Greenhall, il y a exactement une valeur de charge de 0%, une valeur de charge de 100%, et des charges successives, chacune différente des valeurs précédentes.

Finalement, les échantillons uniformément répartis sur l'intervalle $[0,1]$ sont produits au moyen d'un générateur de nombres aléatoires. La longueur du cycle du générateur de nombres aléatoires doit être au moins égale au nombre souhaité d'échantillons de phase, afin de garantir que les échantillons aient les propriétés d'un processus aléatoire indépendant.

Le caractère scintillatoire d'un ensemble de données se manifeste dans le calcul de l'écart TDEV par une pente nulle. Cela est illustré dans la Figure I.4 où est calculé l'écart TDEV pour une configuration PDV produite au moyen de la méthode décrite ici et ci-dessous.

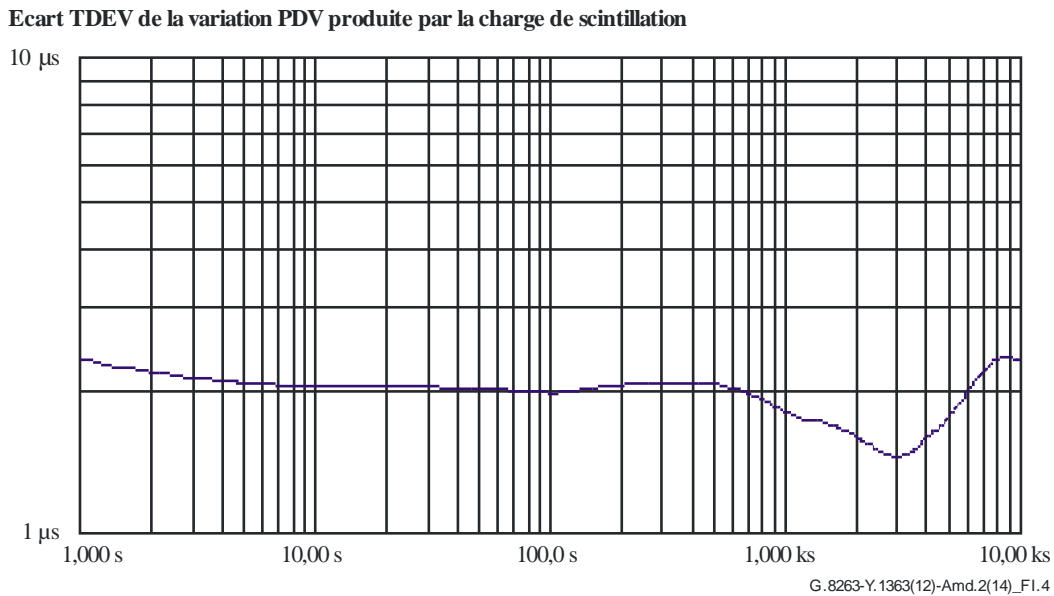


Figure I.4 – Ecart TDEV de la variation PDV produite par la charge de scintillation

Production de la distribution gamma

Une distribution gamma est définie par deux paramètres, alpha (α) et beta (β). Un troisième paramètre, nommé rho (ρ) et correspondant au décalage, est nécessaire. La raison en est que, dans sa forme première, la distribution gamma a un minimum égal à zéro, tandis que le temps de transmission minimal dans un quelconque scénario particulier est supérieur à zéro. La fonction de densité de probabilité pour la distribution gamma fondée sur ces paramètres est la suivante.

$$p_x(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \beta^\alpha (x - \rho)^{\alpha-1} e^{-\beta(x-\rho)}, \quad x \geq \rho \quad (\text{I-7})$$

où X est la variable aléatoire de gamma et x est la variable indépendante de la distribution.

L'approximation par une distribution gamma d'un ensemble de données mesurées fait intervenir la détermination des trois paramètres α , β et ρ . La première étape, après la détermination de ρ , consiste à décaler l'ensemble de données, en soustrayant ρ , afin qu'elles occupent les positions classiques dans la distribution gamma. En d'autres termes, ρ est annulé. Après avoir effectué ce décalage, diverses méthodes permettent de calculer α et β à partir des données. L'une des procédures est la *méthode des moments*, une autre parmi elles est l'*estimation du maximum de vraisemblance*.

La procédure de la *méthode des moments* est décrite ici. La première étape consiste à calculer les premier et deuxième moments m_1 et m_2 de la distribution, c'est-à-dire l'espérance mathématique de la variable aléatoire, $E(X)$, et l'espérance mathématique du carré de la variable aléatoire, $E(X^2)$. Ces moments m_1 et m_2 peuvent être estimés au moyen des équations (I-8) et (I-9):

$$m_1 = (X_1 + \dots + X_n) / n \quad (\text{I-8})$$

$$m_2 = (X_1^2 + \dots + X_n^2) / n \quad (\text{I-9})$$

La relation entre ces moments et α et β est indiquée dans les équations (I-10) et (I-11):

$$\alpha\beta = m_1 \quad (\text{I-10})$$

$$\beta^2\alpha(\alpha + 1) = m_2 \quad (\text{I-11})$$

Il en résulte que α et β sont donnés par les équations (I-12) et (I-13):

$$\alpha = m_1^2 / (m_2 - m_1^2) \quad (I-12)$$

$$\beta = (m_2 - m_1^2) / m_1 \quad (I-13)$$

Pour définir une relation entre la charge et les trois paramètres de la distribution gamma, les données de mesure provenant d'un réseau HRM-1 UIT-T G.8261.1 sont employées, la charge étant augmentée de 0% à 100% par paliers de 1%. Les données PDV pour chacun de ces paliers sont ensuite adaptées aux paramètres α , β et ρ .

Pour la modélisation, le minimum global (57,32 μ s dans ce cas) est soustrait des données. Ensuite, α et β sont calculés à partir de l'approximation par une distribution gamma, après soustraction de ρ (minimum) de chaque segment. La démarche consiste ensuite à obtenir une solution analytique pour les trois paramètres α , β et ρ . A ces fins, le point à 100% a été retenu comme un cas particulier, parce qu'un palier plancher est apparu pour une charge de 100% (le plancher s'est déplacé à 95 μ s au-dessus du plancher minimal, avec 1% à 114 μ s au-dessus du plancher minimal), et les points allant de 1% à 99% ont été employés pour l'approximation par la courbe. Des polynômes d'ordre plus élevés (6ème ordre) ont été adaptés aux trois ensembles de points, les séquences de α , β et ρ . Les équations sont donc de la forme suivante:

$$y = Ax^6 + Bx^5 + Cx^4 + Dx^3 + Ex^2 + Fx + G \quad (I-14)$$

où x est la valeur de la charge en % (c'est-à-dire, que x varie de 0 à 100).

Les données initiales α , β et ρ et l'approximation par les courbes sont représentées dans les Figures I.5, I.6 et I.7.

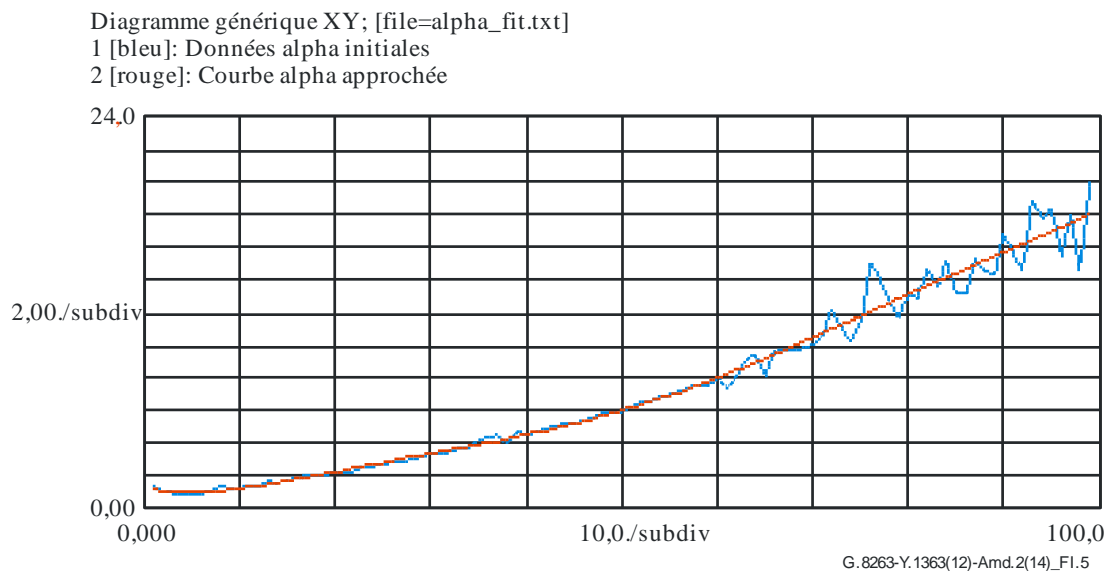
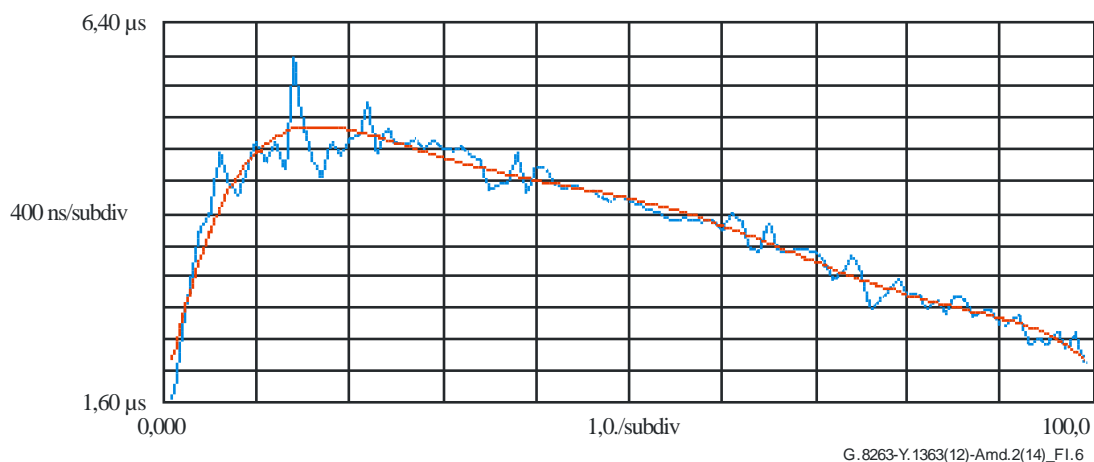


Figure I.5 – Données alpha

Diagramme générique XY; [file=beta_fit.txt]

1 [bleu]: Données beta initiales

2 [rouge]: Courbe beta approchée



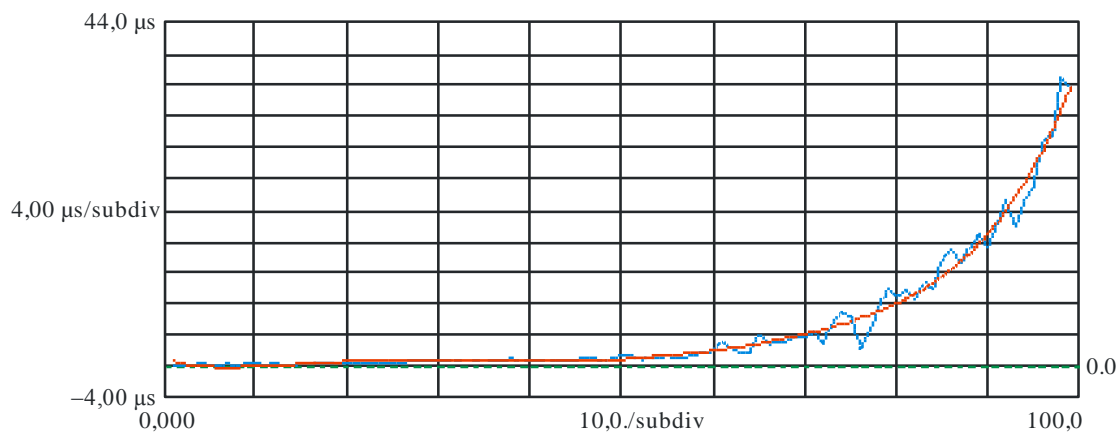
G.8263-Y.1363(12)-Amd.2(14)_F1.6

Figure I.6 – Données beta

Diagramme générique XY; [file=rho_fit.txt]

1 [bleu]: Données rho initiales

2 [rouge]: Courbe rho approchée



G.8263-Y.1363(12)-Amd.2(14)_F1.7

Figure I.7 – Données rho

Les paramètres polynomiaux obtenus sont les suivants (il convient de noter que pour des coefficients d'équations polynomiales d'ordre plus élevé, il est important de conserver un grand nombre de décimales, comme indiqué dans la Tableau I.2).

Tableau I.2 – Paramètres polynomiaux obtenus

	α	β	ρ
<i>A</i>	3,0302171048327E-10	-3,7527709385196E-16	1,0843935243576E-15
<i>B</i>	-9,7822643361772E-08	1,2590219237780E-13	-2,8578719666972E-13
<i>C</i>	1,1854660981753E-05	-1,6595170368502E-11	2,9508400604002E-11
<i>D</i>	-6,6624332958641E-04	1,0886566230108E-09	-1,4410536532614E-09
<i>E</i>	1,8713517871851E-02	-3,7186572402355E-08	3,3119857891960E-08
<i>F</i>	-1,4120879264166E-01	5,9390899042069E-07	-2,9200865252098E-07
<i>G</i>	1,3306420437613E+00	1,6110589771449E-06	8,1781119355525E-07

A titre d'exemple particulier, pour une charge égale à 60%, la valeur 60 est employée dans les équations et

$$\alpha = 8,0255194029732E+00$$

$$\beta = 3,8429770506754E-06$$

$$\rho = 2,0554033188099E-06$$

Les équations sont employées pour des valeurs de charge allant jusqu'à 99. Pour des valeurs de charge supérieures à 99, les valeurs de charge de 100% sont employées:

$$\alpha = 2,0132036140218E+01$$

$$\beta = 2,96693980102245E-06$$

$$\rho = 5,59439990063761E-05$$

Les trois équations pour α , β et ρ , ainsi que les valeurs de α , β et ρ applicables au cas particulier des charges au-dessus de 99%, sont ensuite employées pour une séquence de scintillation avec une charge allant de 0% à 100%. La valeur PDV minimale de 57,32 μs initialement soustraite des données est rajoutée à nouveau.

Séquence PDV gamma produite par la charge de scintillation

Une séquence de scintillation de 360 valeurs, chaque valeur ayant une durée de quatre minutes et produisant une distribution gamma correspondante au moyen des relations décrites ci-dessus, correspond à une séquence de 24 heures. La séquence PDV résultante est représentée dans la Figure I.8 ainsi que le centile pour des fenêtres de 200 secondes. Le maximum est égal à 146,35 μs , dépassant de 89,03 μs le plancher de 57,32 μs .

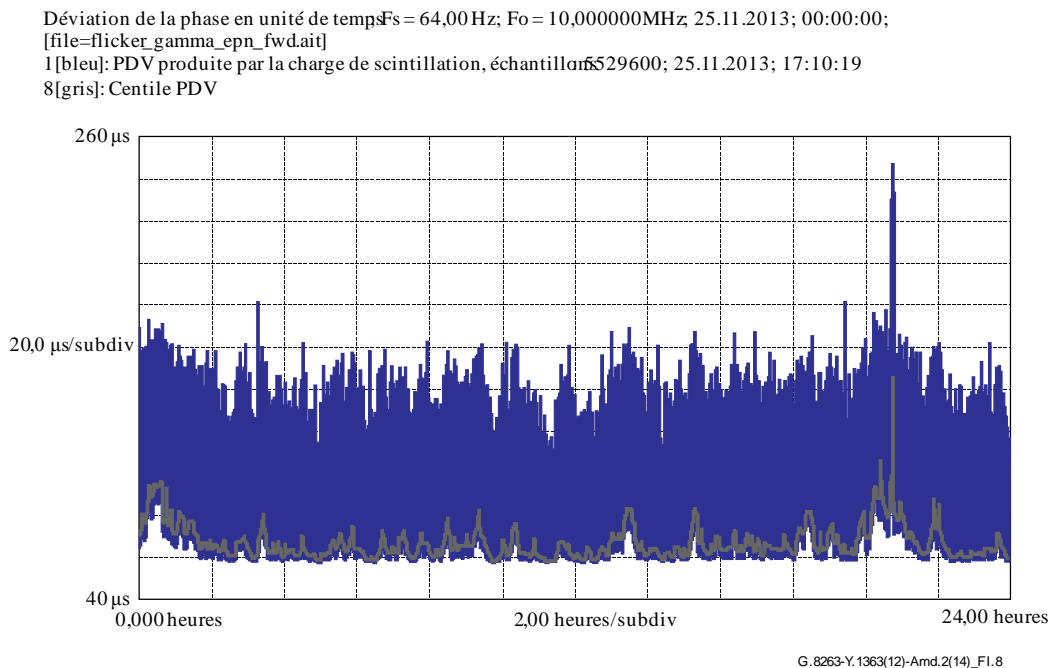


Figure I.8 – Centile PDV

I.2.2 Configurations PDV fondées sur une combinaison d'ondes sinusoïdales

La méthode de production des configurations PDV décrites dans le présent paragraphe consiste en une combinaison d'ondes sinusoïdales, c'est-à-dire l'addition de configurations d'essai sinusoïdales, suivie par la normalisation de la configuration résultante de manière à satisfaire à la limite dans le

réseau spécifiée dans la référence [UIT-T G.8261.1]. Les configurations d'essai sinusoïdales sont décrites dans les étapes 1 et 2 du § I.2.3. Chaque sinusoïde est composée d'une fonction sinusoïdale à 145 μ s à laquelle s'ajoute une configuration de bruit de 1 ms, la combinaison satisfaisant à la limite dans le réseau de 150 μ s.

Objectif et applicabilité

Les configurations sinusoïdales à fréquence unique sont les configurations pour les cas les plus défavorables qui peuvent être obtenues à partir de la limite dans le réseau de la référence [UIT-T G.8261.1]. Comme ces configurations n'existent pas dans les réseaux réels, une autre configuration d'essai fondée sur l'addition de fonctions sinusoïdales peut être produite. Même si la configuration est toujours artificielle et ne comporte pas toutes les statistiques PDV qui peuvent s'appliquer, le comportement ressemble plus à celui d'un réseau réel. Une autre raison pour produire de telles configurations est qu'il est plus rapide d'exécuter une seule configuration contenant plusieurs fréquences composantes que d'exécuter une séquence d'essai où les différentes configurations sinusoïdales seraient exécutées consécutivement.

Paramètres et exemple

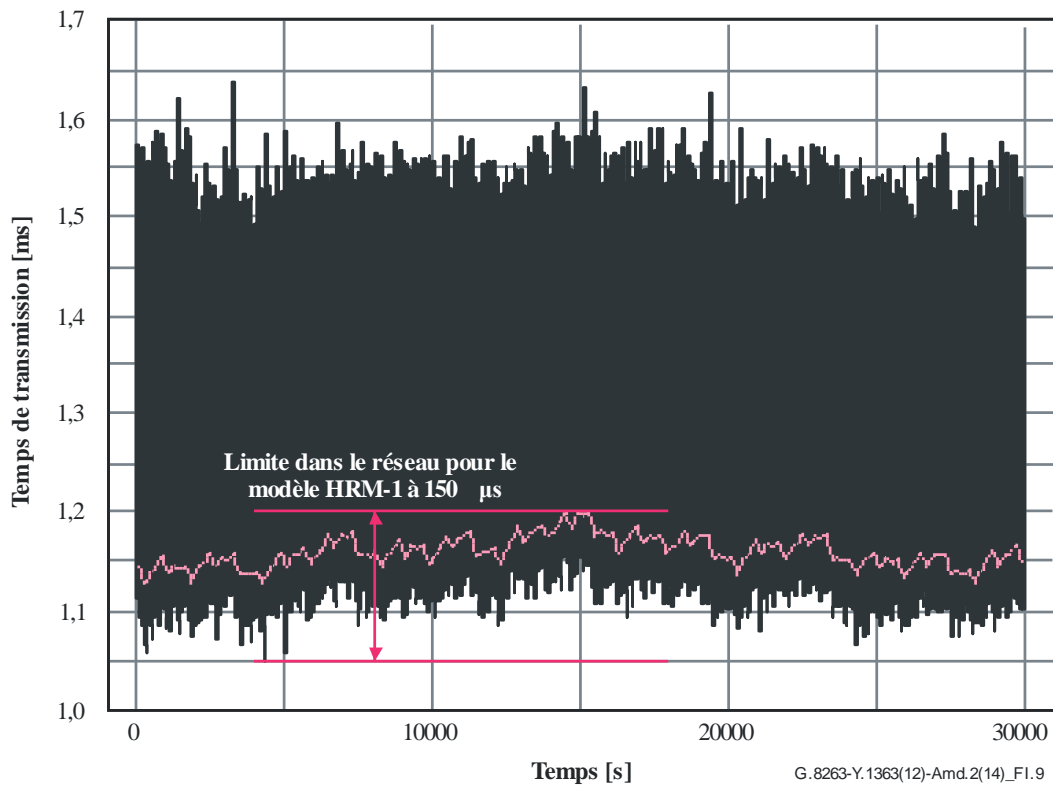
Dans les réseaux réels, on observe une configuration diurne caractéristique. Pour reproduire cette configuration, les ondes sinusoïdales composantes de périodes les plus longues sont mises en phase de manière à atteindre leurs maxima au même moment. Les trois périodes les plus longues sont 30 ks, 20 ks et 8 ks et elles sont alignées de façon à atteindre un maximum à 15 ks. Les autres périodes de 4 ks, 2 ks, 800 s, 400 s, 200 s, 100 s et 50 s enregistrent un petit décalage de phase de sorte que la même phase n'est pas présente simultanément dans les différentes composantes. Les phases sont résumées dans le Tableau I.3.

Tableau I.3 – Phases des composantes ondes sinusoïdales additionnées

Période	30 ks	20 ks	8 ks	4 ks	2 ks	800 s	400 s	200 s	100 s	50 s
Phase sinusoïdale de 0° à	7,5 ks	10 ks	5 ks, 13 ks	1,5 ks	1 ks	600 s	0 s	0 s	50 s	25 s

Après avoir ajouté les configurations, les valeurs sont divisées par un facteur de normalisation de sorte que dans toutes les fenêtres de 200 s au moins 1% des paquets satisfait à la limite dans le réseau spécifiée dans la référence [UIT-T G.8261.1].

La Figure I.9 ci-après donne un exemple de configuration PDV produite à l'aide d'une méthode semblable.



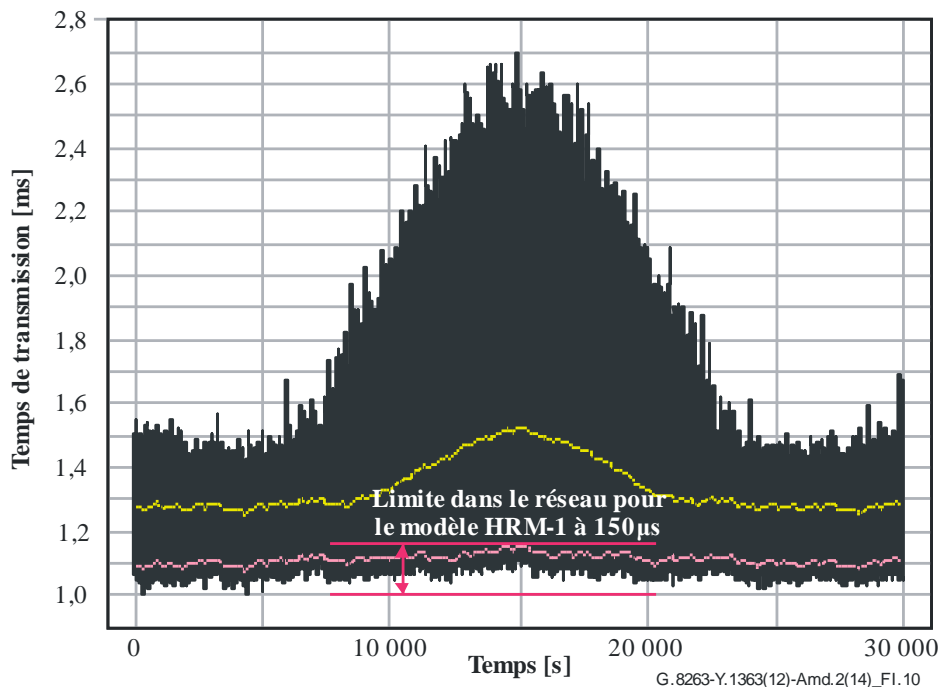
NOTE – La courbe pourpre représente la courbe de 1%.

Figure I.9 – Configuration PDV fondée sur une combinaison d'ondes sinusoïdales

Amélioration de la configuration d'essai de la capacité de sélection des paquets des horloges

Les configurations d'essai sinusoïdales sont déficientes lorsque les horloges sans filtrage de paquets ont une qualité de fonctionnement égale à celle des horloges qui filtrent les paquets, ou légèrement meilleure. La raison en est que le temps de transmission moyen de l'ensemble des paquets a la même configuration ou une configuration plus régulière que celle de la moyenne des temps de transmission minimaux des paquets.

La configuration peut être améliorée en remplaçant une partie des valeurs dépassant une enveloppe de 2% par des valeurs d'amplitude plus grande, comme représenté dans la Figure I.10. Les 2% de paquets les plus rapides dans chacune des fenêtres de 200 s ne doivent pas être remplacés. De cette manière, les horloges sans filtrage de paquets produiront un signal sortant moins bon que celui des horloges avec filtrage. Diverses configurations peuvent être utilisées. Mais l'amplitude de crête à crête de la courbe du temps de transmission moyen, calculée dans des fenêtres de 200 s, peut être de 300 µs au plus.



NOTE – La courbe inférieure représente l'enveloppe de 1% et la courbe supérieure représente le temps de transmission moyen.

Figure I.10 – Exemple d'une configuration PDV améliorée fondée sur une combinaison d'ondes sinusoïdales

I.2.3 Configurations PDV fondées sur une onde sinusoïdale unique

La méthode de production des configurations PDV décrites dans le présent paragraphe consiste à choisir une onde sinusoïdale unique pour moduler le retard plancher des échantillons de retard aléatoire, recueillis selon une loi de puissance. Plusieurs fréquences peuvent successivement être employées pour éprouver les propriétés et la tolérance de l'horloge asservie en mode paquet. Il s'agit d'une adaptation au bruit PDV des méthodes traditionnelles employées pour caractériser la tolérance de bruit des horloges de la couche physique.

Objectif et applicabilité

Cette méthode ne vise pas à modéliser le comportement type d'un réseau. Elle peut toutefois être utile lors de l'étude du comportement détaillé des horloges en mode paquet. En modifiant la période de la sinusoïde, on pourrait obtenir des informations sur la largeur de bande du filtre des horloges en mode paquet. D'autre part, en variant l'amplitude, on pourrait obtenir des informations sur les seuils qui s'appliquent aux régimes linéaires et non linéaires des horloges. Il convient toutefois de noter qu'aucune prescription au sujet de ce paramètre n'est mentionnée dans la référence [UIT-T G.8263].

Paramètres et exemple

Afin de moduler le retard plancher des échantillons PDV au moyen d'une onde sinusoïdale, le processus suivant est suggéré.

Etape 1:

Une configuration sinusoïdale est produite, correspondant à la composante basse fréquence employée pour le retard plancher. La configuration sinusoïdale, $w(t)$, est définie au moyen de deux paramètres:

- A : qui caractérise l'amplitude de crête à crête de l'onde sinusoïdale;
- T : qui caractérise la période de l'onde sinusoïdale.

La configuration sinusoïdale est donnée par la formule suivante:

$$w(t) = \frac{A}{2} \left(1 + \sin \frac{2\pi t}{T} \right) \quad (\text{I-15})$$

Les paramètres A et T sont choisis dans le Tableau I.4.

Etape 2:

Un bruit PDV est ajouté à la sinusoïdale initiale, sur la base de la fonction de densité de probabilité suivante:

$$p(x) = \frac{1+\gamma}{Y} \left(1 - \frac{x}{Y} \right)^\gamma \quad (\text{I-16})$$

où Y est l'amplitude du bruit et γ est un paramètre de forme. La fonction de distribution de la probabilité cumulative correspondante est donnée par la formule suivante:

$$P(x) = \int_0^x p(u) du = 1 - \left(1 - \frac{x}{Y} \right)^{1+\gamma} \quad (\text{I-17})$$

Ci-après est donnée une description de la méthode habituelle d'essai de la tolérance des horloges par rapport à la limite dans le réseau HRM-1. Mais il n'est pas suggéré d'employer la configuration pour les essais de conformité parce que l'on s'attend à ce qu'une telle configuration du temps de transmission la plus défavorable ne se produise jamais dans les réseaux HRM-1 réels.

Afin de garantir que le nombre d'échantillons dans chaque fenêtre avec des retards inférieurs à $150 \mu\text{s}$ soit proche de 1% du nombre total d'échantillons dans la fenêtre (c'est-à-dire que toutes les valeurs différentes de 1% ne sont dues qu'à la variabilité statistique), l'amplitude Y ou le paramètre de forme γ de la distribution de l'étape 1 peuvent varier dans le temps. Si l'amplitude Y varie dans le temps, elle est donnée par la formule suivante:

$$Y(t) = \frac{150 \mu\text{s} - w(t)}{1 - (0,99)^{1/(1+\gamma)}} \quad (\text{I-18})$$

où $w(t)$ est obtenu à partir de l'équation (I-15) avec A en μs et γ choisi dans le Tableau I.4. Si le paramètre γ varie dans le temps, il est donné par la formule suivante:

$$\gamma(t) = \frac{\ln(0,99)}{\ln\left(1 - \frac{150 \mu\text{s} - w(t)}{Y}\right)} - 1 \quad (\text{I-19})$$

où Y est choisi dans le Tableau I.4. Il convient de noter que, si l'équation (I-18) est utilisée, $Y(t)$ peut ne pas faire partie de la gamme du Tableau I.4 pour certaines valeurs du temps, suivant la valeur de γ .

Par ailleurs, les quantités Y et γ peuvent ne pas varier dans le temps. Dans ce cas, les deux valeurs sont choisies dans le Tableau I.4.

NOTE 1 – Si des quantités Y et γ fixes sont employées, elles devraient être choisies de manière que le nombre d'échantillons PDV dans chaque fenêtre avec des retards inférieurs à $150 \mu\text{s}$ soit proche de 1% du nombre total d'échantillons dans la fenêtre. Ceci est particulièrement important si l'étape 3, qui est facultative, n'est pas exécutée. La distribution de probabilité donnée par les équations (I-15) et (I-16) peut être obtenue à partir d'une distribution de probabilité uniforme entre 0 et 1 au moyen d'une transformation selon une loi de puissance avec exposant γ (c'est-à-dire, $x = u^\gamma$), suivie d'une mise à échelle à l'aide du facteur Y , et d'une réflexion par rapport à $x = Y/2$.

Etape 3:

Cette étape est facultative. Mais si elle est exécutée, la procédure est la suivante. Les échantillons de retard de la configuration PDV résultante, qui comporte une onde sinusoïdale, sont réarrangés afin que 1% des échantillons soit en dessous de 150 μs pour chacune des fenêtres de 200 s, pour les limites dans le réseau PDV HRM-1. Cette étape s'applique au saut d'une fenêtre à l'autre (ne se chevauchant pas).

NOTE 2 – Cette étape est facultative parce que la configuration d'essai PDV modulée par une sinusoïde n'est pas nécessairement plus intéressante pour l'horloge asservie lorsque le pourcentage de paquets plancher (FPP) est plus petit. Pour cette configuration d'essai, les parties de la configuration que l'horloge asservie tolère le plus facilement sont les parties au niveau des points de retournement de la sinusoïde, c'est-à-dire où la sinusoïde varie le moins vite et où le plancher ne change pas beaucoup d'une fenêtre à la suivante. Mais le pourcentage FPP est aussi le plus petit au niveau des crêtes.

Si plus de 1% des échantillons dans une fenêtre ont des retards inférieurs à 150 μs , alors un nombre d'échantillons, N , est sélectionné de manière aléatoire dans les échantillons dont les retards sont inférieurs à 150 μs . Ces échantillons sont déplacés vers des valeurs supérieures à 150 μs . La nouvelle valeur pour chaque échantillon est choisie de manière aléatoire dans une distribution uniforme qui s'étend de 150 μs jusqu'au retard maximal des étapes 1 et 2. Le nombre d'échantillons N est le plus grand nombre qui assure toujours que 1% ou plus d'échantillons aient des retards inférieurs à 150 μs .

Si moins de 1% des échantillons dans une fenêtre ont des retards inférieurs à 150 μs , alors un nombre d'échantillons, N , est sélectionné de manière aléatoire dans les échantillons dont les retards sont supérieurs à 150 μs . Ces échantillons sont déplacés vers des valeurs inférieures à 150 μs . La nouvelle valeur pour chaque échantillon est choisie de manière aléatoire dans une distribution uniforme qui s'étend de la valeur de la modulation sinusoïdale du retard minimal jusqu'à 150 μs . Le nombre d'échantillons N est le plus petit nombre qui conduit à ce que 1% ou plus d'échantillons aient des retards inférieurs à 150 μs .

Plusieurs configurations PDV résultantes comportant une onde sinusoïdale sont produites avec des périodes T variables, et appliquées successivement à l'horloge PEC-S asservie.

Le Tableau I.4 ci-dessous contient un résumé des domaines de valeurs possibles à envisager pour les paramètres Y , γ , A et T en soumettant l'horloge PEC-S à des contraintes pour le modèle HRM-1 de la référence [UIT-T G.8261.1]. Il convient de noter que, si l'équation (I-18) est employée, les paramètres A , T et γ sont choisis et Y est calculé. Si l'équation (I-19) est employée, les paramètres A , T et Y sont choisis et γ est calculé.

Tableau I.4 – Limite inférieure de la variation PDV sinusoïdale maximale tolérable à l'entrée pour le modèle HRM-1

Paramètres de bruit PDV initiaux		Paramètres des ondes sinusoïdales	
Y (μs)	γ	A (μs)	T (s)
[500, 10 000]	(-1, +4) (Note 1)	[0-150)	[200, 86 400]
NOTE 1 – γ doit être strictement supérieur à -1. Si $\gamma = -1$, la fonction de densité de probabilité de l'équation (I-16) est identiquement 0, et si $\gamma < -1$, la fonction de densité de probabilité est négative. NOTE 2 – L'intervalle de A ne contient pas l'extrémité 150 μs .			

La Figure I.11 ci-dessous donne un exemple de configuration PDV produite à l'aide de cette méthode, dans le cas où Y et γ sont constants dans le temps:

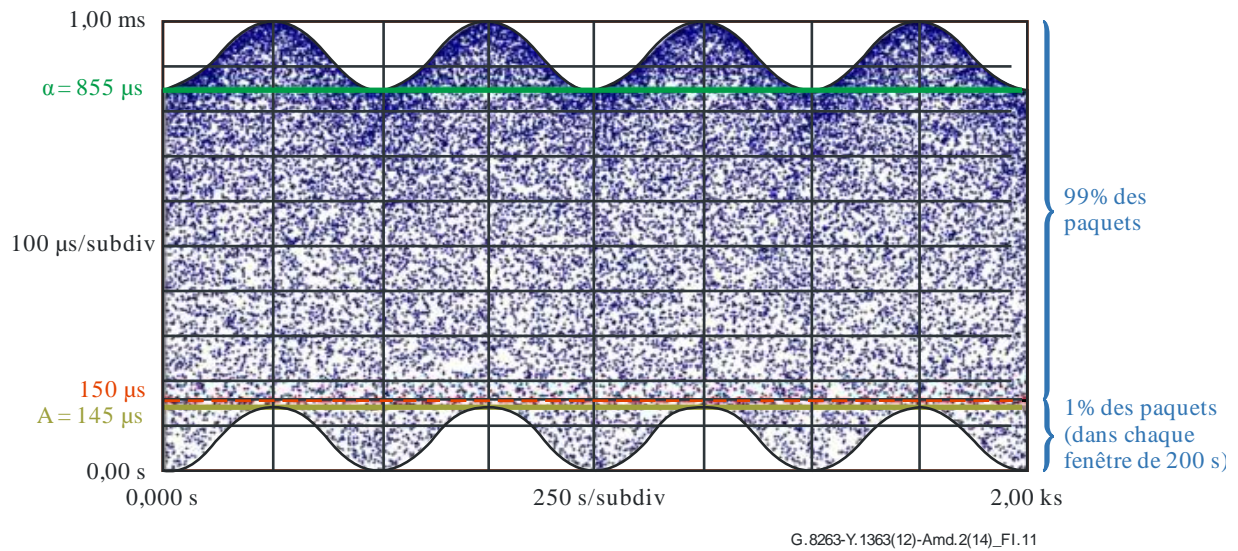


Figure I.11 – Exemple d'une configuration PDV fondée sur une onde sinusoïdale unique
($Y = 855 \mu\text{s}$, $\gamma = -0,5$, $A = 145 \mu\text{s}$, $T = 500 \text{ s}$)

3) Bibliographie

Ajouter la bibliographie suivante après les appendices.

Bibliographie

- [b-Barnes & Greenhall] Barnes, J.A. et Greenhall, C.A. (1987), *Large Sample Simulation of Flicker Noise*, Proceedings of the 19th Annual Precision Time and Time Interval (PTTI), Corrections and addenda given in Proceedings of the 24th Annual Precision Time and Time Interval (PTTI) 1992.
- [b-Barnes & Jarvis] Barnes, J.A. et Jarvis, Jr. S. (1971), *Efficient Numerical and Analog Modeling of Flicker Noise Processes*, NBS Technical Note 604.
- [b-Corsini & Saletti] Corsini, G. et Saletti, R. (1988), *A $1/f'$ power spectrum noise generator*, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 37, No. 4, décembre, p. 615-619.
- [b-Leland et al.] Leland, W.E., Taqqu, M.S., Willinger, W. et Wilson, D.V. (1994), *On the self-similar nature of Ethernet traffic*, IEEE /ACM Transactions on Networking, Vol. 2, No. 1.
- [b-Sahinoglu & Tekinay] Sahinoglu, Z. et Tekinay, S. (1999), *"On multimedia networks: self-similar traffic and network performance"*, IEEE Communications Magazine, Vol. 37, No. 1.

RECOMMANDATIONS UIT-T DE LA SÉRIE Y
**INFRASTRUCTURE MONDIALE DE L'INFORMATION, PROTOCOLE INTERNET ET RÉSEAUX DE
 PROCHAINE GÉNÉRATION**

INFRASTRUCTURE MONDIALE DE L'INFORMATION	
Généralités	Y.100–Y.199
Services, applications et intergiciels	Y.200–Y.299
Aspects réseau	Y.300–Y.399
Interfaces et protocoles	Y.400–Y.499
Numérotage, adressage et dénomination	Y.500–Y.599
Gestion, exploitation et maintenance	Y.600–Y.699
Sécurité	Y.700–Y.799
Performances	Y.800–Y.899
ASPECTS RELATIFS AU PROTOCOLE INTERNET	
Généralités	Y.1000–Y.1099
Services et applications	Y.1100–Y.1199
Architecture, accès, capacités de réseau et gestion des ressources	Y.1200–Y.1299
Transport	Y.1300–Y.1399
Interfonctionnement	Y.1400–Y.1499
Qualité de service et performances de réseau	Y.1500–Y.1599
Signalisation	Y.1600–Y.1699
Gestion, exploitation et maintenance	Y.1700–Y.1799
Taxation	Y.1800–Y.1899
Télévision IP sur réseaux de prochaine génération	Y.1900–Y.1999
RÉSEAUX DE PROCHAINE GÉNÉRATION	
Cadre général et modèles architecturaux fonctionnels	Y.2000–Y.2099
Qualité de service et performances	Y.2100–Y.2199
Aspects relatifs aux services: capacités et architecture des services	Y.2200–Y.2249
Aspects relatifs aux services: interopérabilité des services et réseaux dans les réseaux de prochaine génération	Y.2250–Y.2299
Améliorations concernant les réseaux de prochaine génération	Y.2300–Y.2399
Gestion de réseau	Y.2400–Y.2499
Architectures et protocoles de commande de réseau	Y.2500–Y.2599
Réseaux de transmission par paquets	Y.2600–Y.2699
Sécurité	Y.2700–Y.2799
Mobilité généralisée	Y.2800–Y.2899
Environnement ouvert de qualité opérateur	Y.2900–Y.2999
RÉSEAUX FUTURS	Y.3000–Y.3499
INFORMATIQUE EN NUAGE	Y.3500–Y.3999

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

SÉRIES DES RECOMMANDATIONS UIT-T

Série A	Organisation du travail de l'UIT-T
Série D	Principes généraux de tarification
Série E	Exploitation générale du réseau, service téléphonique, exploitation des services et facteurs humains
Série F	Services de télécommunication non téléphoniques
Série G	Systemes et supports de transmission, systemes et reseaux numériques
Série H	Systemes audiovisuels et multimédias
Série I	Reseau numérique à intégration de services
Série J	Reseaux câblés et transmission des signaux radiophoniques, télévisuels et autres signaux multimédias
Série K	Protection contre les perturbations
Série L	Environnement et TIC, changement climatique, déchets d'équipements électriques et électroniques, efficacité énergétique; construction, installation et protection des câbles et autres éléments des installations extérieures
Série M	Gestion des télécommunications y compris le RGT et maintenance des réseaux
Série N	Maintenance: circuits internationaux de transmission radiophonique et télévisuelle
Série O	Spécifications des appareils de mesure
Série P	Terminaux et méthodes d'évaluation subjectives et objectives
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	Reseaux de données, communication entre systemes ouverts et sécurité
Série Y	Infrastructure mondiale de l'information, protocole Internet et reseaux de prochaine génération
Série Z	Langages et aspects généraux logiciels des systemes de télécommunication