

<b>Zeitschrift:</b>	Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe
<b>Band:</b>	54 (1976)
<b>Heft:</b>	11
<b>Artikel:</b>	Quelques mesures de taux d'erreur et de gigune en ligne sur les systèmes à 2 Mbit/s sur câbles
<b>Autor:</b>	Käser, André
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-875856">https://doi.org/10.5169/seals-875856</a>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 23.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Quelques mesures de taux d'erreur et de gigue en ligne sur les systèmes à 2 Mbit/s sur câbles

André KÄSER, Berne

621.317.34.037.37:621.376.56:621.391.883:621.395.5:681.327.8

## Einige Messungen der Fehlerrate und des Jitters auf Leitungen der 2-Mbit/s-Systeme in Kabelanlagen

Zusammenfassung. Messungen der Fehlerrate und vor allem des Jitters auf der Leitung wurden auf mehreren 2-Mbit/s-Verbindungen des schweizerischen Datennetzes durchgeführt. Dank der Kaskadenschaltung von 800 Regeneratoren konnte eine digitale Übertragung von über 2500 km Länge simuliert werden.

Résumé. Une campagne de mesure de taux d'erreur et surtout de gigue en ligne a été effectuée sur plusieurs liaisons à 2 Mbit/s qui font partie du réseau suisse de transmission de données. Par la mise en cascade de 800 régénérateurs, l'on a pu simuler une transmission numérique longue de plus de 2500 km.

## Alcune misurazioni su cavi dei tassi di errori e di jitter di fase in linea dei sistemi a 2 Mbit/s

Riassunto. Una campagna di misurazione dei tassi d'errori e soprattutto dei jitter di fase in linea è stata effettuata su diversi collegamenti a 2 Mbit/s che fanno parte della rete svizzera delle trasmissioni di dati. Per la connessione in serie di 800 rigeneratori si è potuto simulare una trasmissione digitale di una lunghezza superiore a 2500 km.

## 1 Introduction

La maison Hasler SA, Berne, ayant achevé le montage de la section Berne-Zürich du réseau interurbain de transmission de données [1], [2], celle-ci fut mise à la disposition de la Division des recherches et du développement pour des mesures.

## 2 Mesures de taux d'erreur

Toutes les lignes à disposition ont été mises en cascade, ce qui représentait une chaîne de 800 régénérateurs et une distance de plus de 2500 km. Pendant un mois environ, l'enregistrement des erreurs a prouvé que l'on pouvait compter avec un taux d'erreur moyen de  $5 \cdot 10^{-11}$  pour toute la liaison; les erreurs binaires apparaissaient isolées ou par groupe de 2 ou 3 au maximum.

Ce résultat très réjouissant est à mettre au compte de :

- Une planification très prudente du système (sens de transmission situés sur 2 câbles différents)
- Une très bonne immunité au bruit des régénérateurs et des équipements terminaux de ligne.

## 3 Mesures de gigue

Précisons tout d'abord que la gigue (en anglais: jitter) est un phénomène inévitable lorsque l'information de rythme nécessaire à la régénération est extraite du signal incident. Comme il s'agit d'un temps, cette modulation en position s'exprime en nanosecondes ou en nombre d'intervalles unitaires [IT], si la période du signal de rythme est choisie comme unité. Elle ne provoque pas d'erreurs en ligne pourvu que certaines conditions d'amplitude et de fréquence soient vérifiées. Son amplitude doit cependant rester dans des limites acceptables dans le cas du branchement en fin de ligne d'un multiplexeur 8448 kbit/s ou d'une unité de commutation temporelle.

### 3.1 Méthode et appareil de mesure de la gigue en ligne

Dans chaque cas le signal était bouclé à l'extrême distante. Un tel procédé permet une comparaison directe entre le rythme du signal émis et le rythme du signal reçu (fig. 1).

La figure 2 indique le principe de fonctionnement d'un appareil de mesure de gigue réalisé à la Division des recherches et du développement de la Direction générale des PTT. La tension de sortie est proportionnelle au retard, variable dans

le temps entre un rythme affecté de gigue et son horloge de référence; cela permet une visualisation de la gigue en fonction du temps et un traitement de l'information (mesure de la valeur efficace, valeur de crête, spectre de fréquences). Les composantes du spectre de la gigue sont observables jusqu'à des fréquences très basses qui ne dépendent que de la stabilité de l'horloge de référence. Un filtre passe-bas élimine les fréquences supérieures à 20 kHz.

Le signal émis en ligne est codé en HDB3; il est formé soit de séquences répétitives alternées soit de séquences pseudo-aléatoires.

### 3.2 Propriétés de la gigue due à des séquences pseudo-aléatoires

#### 3.2.1 Accroissement de la valeur efficace de la gigue en fonction du nombre de régénérateurs

En 1963 déjà Byrne, Karafin et Robinson [3] ont pu montrer à partir d'un modèle simple que, pour un grand nombre de régénérateurs, la valeur efficace de la gigue croît comme la racine carrée du nombre de ces derniers, si la séquence est aléatoire. Nous verrons plus loin que, lorsque la séquence émise en ligne n'est plus aléatoire, l'accumulation de la gigue peut se faire de manière quelconque.

Il apparaît cependant que l'expression suivante [4] donne une meilleure approximation de la loi d'accumulation pour un grand nombre de régénérateurs:

$$\Phi_{\text{eff}}(N) = \Phi_1 \cdot N^{\alpha}$$

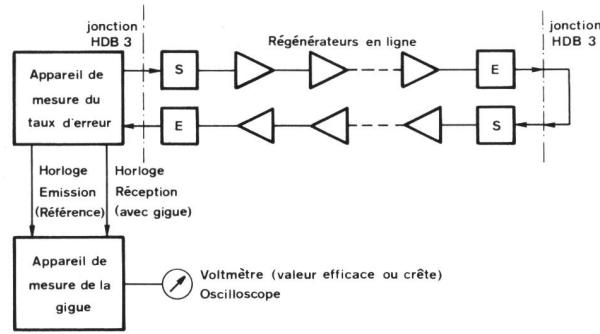


Fig. 1  
Principe de mesure de la gigue en ligne

S      Équipement terminal de ligne côté émission  
E      Équipement terminal de ligne côté réception

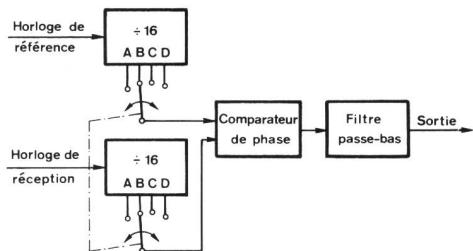


Fig. 2  
Principe de fonctionnement de l'appareil de mesure de la gigue développé spécialement pour ces mesures

- $\Phi_{\text{eff}}(N)$  est la valeur efficace de la gigue après  $N$  régénérateurs
- $\Phi_1$  est la valeur extrapolée de la gigue après 1 régénérateur
- $N$  est le nombre de régénérateurs
- $\alpha$  est un coefficient

La figure 3 reproduit le résultat des mesures pour différentes liaisons et pour une séquence pseudo-aléatoire de  $2^{20}-1$  éléments binaires codés HDB3. Il ressort de cette figure les valeurs suivantes :

$$\Phi_1 = 0,55 \text{ ns} \quad \text{et} \quad \alpha = 0,6$$

Pour la séquence pseudo-aléatoire de  $2^{15}-1$  éléments binaires, la valeur de  $\Phi_1$  est légèrement inférieure alors que celle de  $\alpha$  reste identique.

Les systèmes parallèles dans le même câble ont eu par diaphonie une influence très faible sur l'amplitude de la gigue  $\Phi$ , par contre aucune sur la loi d'accumulation déterminée par  $\alpha$ .

### 322 Spectre de la gigue

L'appareil mesurant de gigue décrit permet de mesurer le spectre de cette dernière. Lorsque la séquence émise en ligne est pseudo-aléatoire, le spectre de la gigue est formé de raies d'autant plus proches que la séquence est plus longue.

Si  $f_o$  est la fréquence de répétition des symboles et si la séquence compte  $2^n-1$  éléments binaires, les raies sont distantes de  $f$  Hertz, où

$$f = \frac{f_o}{2^n-1}$$

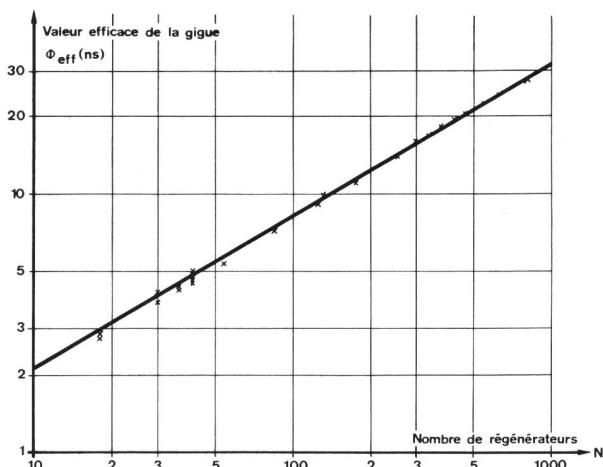


Fig. 3  
Accumulation de la valeur efficace de la gigue pour la séquence pseudo-aléatoire de longueur  $2^{20}-1$  bits

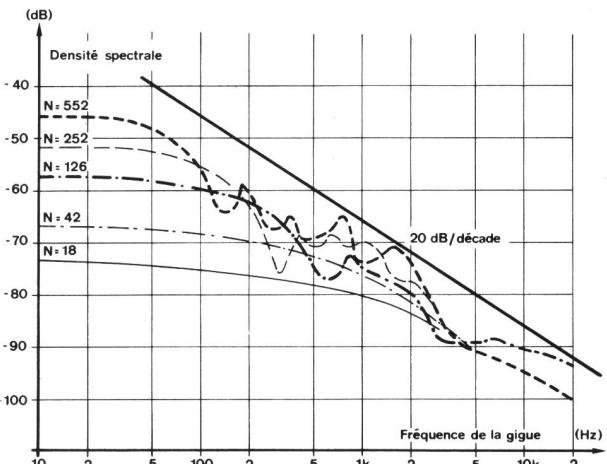


Fig. 4  
Densité spectrale de la gigue en fonction du nombre de régénérateurs  
Référence 0 dB = 1  $(\text{IT})^2 \cdot \text{Hz}^{-1}$

L'on a vérifié expérimentalement ce fait pour les séquences  $2^{15}-1$  et  $2^{20}-1$  où les distances entre les raies sont respectivement 62,5 et 1,95 Hz ( $f_o = 2048 \text{ kHz}$ ).

La figure 4 indique l'évolution du spectre de la gigue avec le nombre  $N$  de régénérateurs. La limite en fréquence de 20 kHz est donnée par l'appareillage de mesure.

L'on notera en particulier la bonne concordance entre les résultats expérimentaux et les résultats théoriques publiés sous [3].

### 323 Distribution en amplitude de la gigue

Il eût été intéressant de mesurer la distribution en amplitude de la gigue et de vérifier si son caractère est gaussien. Cette distribution doit cependant être tronquée du fait que la gigue produite par un régénérateur est limitée en amplitude.

La mesure de la valeur zéro-crête de la gigue a donc paru suffisante. Mesuré pour la séquence pseudo-aléatoire de  $2^{20}-1$  éléments binaires codée en HDB3, le rapport entre l'amplitude zéro-crête et l'amplitude efficace de la gigue a atteint indépendamment du nombre de régénérateurs des valeurs situées entre 4,0 et 4,5.

### 33 Propriétés de la gigue due à des séquences répétitives

La commutation à basse fréquence entre deux séquences répétitives constituées chacune d'un motif à 8 éléments binaires programmables est un test particulièrement sévère pour les régénérateurs, qui permet de déterminer la valeur maximale de la gigue qui peut apparaître à la fin d'une ligne.

### 331 Accroissement de la valeur crête-crête de la gigue en fonction du nombre de régénérateurs

Le premier pas a consisté en la détermination de la combinaison la plus défavorable qui s'est avérée être la commutation entre les motifs ...+1-1+1-1+1-1-1... et ...+1000-1000... qui sont pour le code HDB3 respectivement les densités maximales et minimales de «1».

La figure 5 représente l'augmentation de la valeur crête à crête de la gigue lors de la commutation à la fréquence de 10 Hz entre les motifs susmentionnés. Le résultat montre qu'il faut compter avec une gigue de 16 ns par régénérateur avec une augmentation proportionnelle au nombre de régénérateurs  $N$ .

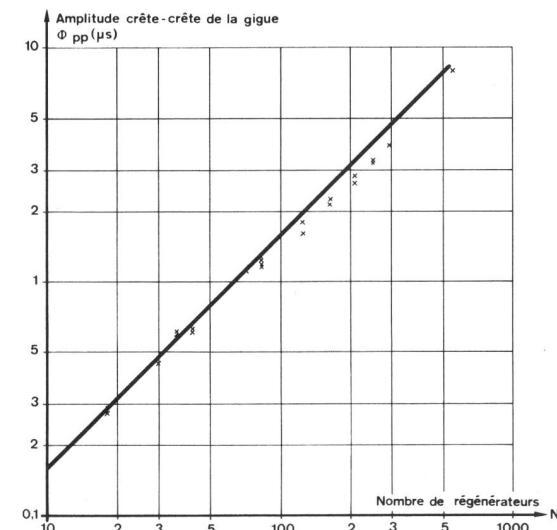


Fig. 5  
Accumulation de la valeur crête-crête de la gigue lors de l'émission de séquences alternées

### 33 Evolution de la valeur crête-crête de la gigue en fonction de la fréquence de commutation

Comme dans le cas de la séquence pseudo-aléatoire, seule la gigue à basse fréquence s'additionne de façon linéaire. À partir d'une certaine fréquence dépendant et du facteur de surtension du circuit d'extraction de rythme et du nombre de régénérateurs, la gigue est atténuée (fig. 6). L'on remarquera, ici aussi, la concordance entre les résultats théoriques obtenus en [3] et les résultats de mesure.

### 34 L'influence de la gigue sur la transmission

La gigue est une dégradation cumulative du signal et il devient d'autant plus nécessaire d'en connaître les propriétés que le réseau numérique prend de l'extension. Les paragraphes précédents ont montré l'influence très grande de la nature de la séquence sur l'amplitude et sur la loi d'accumulation de la gigue.

La gigue aussi grande soit-elle, aussi longtemps qu'elle a été créée par la ligne elle-même ou qu'elle possède la même relation amplitude fréquence, dépendant du facteur de surtension des régénérateurs, ne dégrade en rien le taux d'erreur de la liaison et ne provoque aucune perte d'information.

En revanche, l'accumulation d'une gigue trop importante au niveau de la jonction avec des équipements de multiplexage ou de commutation est la cause de pertes d'information. Par exemple, les valeurs de gigue acceptables à l'entrée 2 Mbit/s d'un multiplexeur 8 Mbit/s (selon les propositions provisoires de la CEPT<sup>1</sup>: 1 IT crête à crête pour  $f \leq 1 \text{ kHz}$ ) permettent la mise en cascade de 900 régénérateurs environ si l'on peut garantir le caractère aléatoire du signal en ligne, tout en ne produisant une perte d'information qu'avec une probabilité de  $10^{-15}$ , c'est-à-dire 1 bit en 15 ans. Les mêmes valeurs rendent par contre nécessaire l'introduction d'un équipement de réduction de gigue après 32 régénérateurs déjà si l'on envisage la possibilité de transmettre des séquences ré-

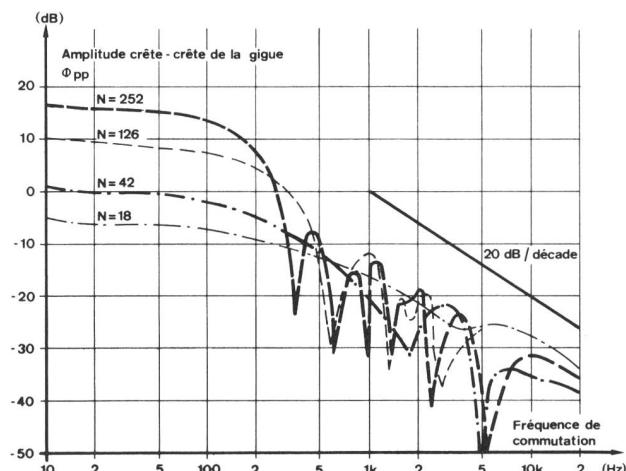


Fig. 6  
Valeur crête-crête de la gigue en fonction de la fréquence de commutation entre deux motifs  
Référence 0 dB = 1 (IT) crête-crête

pétitives. Ces résultats devraient inciter à prévoir la normalisation d'une valeur plus grande pour la gigue admissible à l'entrée 2 Mbit/s du multiplexeur, cela d'autant plus que la complexité supplémentaire est négligeable.

## 4 Conclusions

La mise en cascade de 800 régénérateurs a permis la simulation d'une transmission longue de 2500 km. L'excellent taux d'erreur obtenu sur la liaison entière est la preuve d'une planification prudente et de la qualité des équipements de transmission.

Les mesures de gigue ont permis de confirmer, en partie du moins, les résultats théoriques; elles ont prouvé que la mise en cascade d'un si grand nombre de régénérateurs ne posait aucun problème pour la ligne elle-même; elles ont permis de déterminer pour ce type de régénérateur que dans le cas de la transmission de téléphonie (séquence aléatoire) l'on pouvait mettre en cascade 900 régénérateurs environ avant de prévoir une unité de réduction de gigue à l'entrée 2 Mbit/s d'un équipement de multiplexage 8 Mbit/s; ce dernier nombre se réduit par contre à 32 si l'on veut pouvoir transmettre une séquence 2 Mbit/s quelconque.

Avec l'extension du réseau et l'introduction d'équipements de multiplexage et de commutation numérique, la gigue devient un paramètre très important à mesurer.

## Bibliographie

- [1] Bütikofer J.-F. Réseau interurbain MIC pour la téléphonie, la transmission de données et le télex. Berne, Bull. techn. PTT 51 (1973) N° 10, p. 444...459.
- [2] Kohler R. Planung und Installation der Teilstrecke Bern-Zürich des schweizerischen PCM-Fernleitungsnetzes, Bern, Techn. Mitt. PTT 54 (1976) Nr. 11, S. 423...427.
- [3] Byrne C.J., Karafin B.J. et Robinson D.B. (jr.). Systematic jitter in a chain of digital regenerators. B. S.T. J. Nov. 1963, p. 2679...2714.
- [4] Gigue produite en ligne sur des liaisons à 2048 et 8448 kbit/s. CCITT Com. Sp. D. N° 288.

<sup>1</sup> Conférence Européenne des Administrations des Postes et des Télécommunications