

# SEPTIEME COLLOQUE SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

NICE du 28 MAI au 2 JUIN 1979

---

ANALYSE DU PROCESSUS D'APPARITION DES ERREURS INTRODUITES DANS LES  
SYSTEMES DE TRANSMISSION NUMERIQUE

ANALYSIS OF THE ERROR PROCESS ON DIGITAL TRANSMISSION SYSTEMS

MM. URIEN<sup>+</sup> - GARDERET<sup>++</sup> - LANINO<sup>++</sup> - THEVENIN<sup>++</sup>  
+ : CNET-LANNION ; ++ : LETI à GRENOBLE

CNET  
Route de Trégastel 22301 LANNION

LETI  
CENG - Avenue des Martyrs - 38041 GRENOBLE

---

## RESUME

La notion de taux global d'erreur est assez peu représentative de la façon dont les erreurs se manifestent dans les systèmes de transmission numérique, celles-ci se produisant souvent sous forme de "paquets".

Un système permettant l'acquisition, l'archivage et le traitement du nombre d'intervalles de temps séparant des erreurs consécutives a été réalisé par le LETI ; il est utilisé par le CNET au cours de campagnes de mesures réalisées sur des systèmes numériques fonctionnant à 2 et 8 Mbit/s.

L'analyse de la répartition des erreurs produites dans un système de transmission a été effectuée à LANNION pour diverses causes d'erreurs connues : décalage de l'horloge de référence, diaphonie, défaut d'égalisation du répéteur régénérateur, manque de transparence du terminal de ligne, etc...).

Les résultats obtenus permettent de mieux connaître certains processus d'apparition des erreurs dans les systèmes de transmission et par suite de trouver les paramètres de fonctionnement des systèmes qui peuvent être mis en cause. L'étude des propriétés de l'histogramme des distances entre erreurs successives a en outre montré l'influence prépondérante de l'origine des erreurs et de la nature du message transmis.

Il est enfin acquis que la grande diversité des causes d'erreurs saurait difficilement se satisfaire d'un modèle simple et unique représentant la structure des erreurs.

## SUMMARY

Considering to the results of some recent field trials showing the importance of error burst, the well known "error rate" appears to be useless for the analysis of the error process on digital lines.

The LETI (Grenoble, France) has developed an equipment which can record the intervals between successive errors occurring in 2 or 8 Mbit/s digital systems, and also compute the distribution of these intervals.

This equipment was used for measurements of errors which were made in the CNET (Lannion, France) on field trials and for several test sequences and error sources (frequency deviation, diaphony, bit sequence independence, etc...).

It was found that the distribution of errors widely depends on the error source and on the sequence transmitted. Therefore the error process can be known in some particular cases and we point out that the number of error sources is too high to describe the error structure with only a simple model.



ANALYSE DU PROCESSUS D'APPARITION DES ERREURS INTRODUITES DANS LES SYSTEMES DE TRANSMISSION NUMERIQUE

ANALYSIS OF THE ERROR PROCESS ON DIGITAL TRANSMISSION SYSTEMS

I. - GENERALITES

Le processus d'apparition des erreurs introduites dans les systèmes de transmission numérique a été étudié à partir de la mesure, de l'enregistrement et du traitement du nombre d'intervalles de temps séparant des erreurs consécutives. Ces campagnes de mesures ont été réalisées à LANNION en Janvier 1978 sur des liaisons expérimentales fonctionnant à 2 et 8 Mbit/s.

Les liaisons expérimentales fonctionnent normalement sans aucune erreur et on a dû en introduire volontairement en sélectionnant quatre causes d'erreurs spécifiques. Ce sont respectivement un décalage de l'horloge de référence, un manque de transparence du terminal de ligne à 8 mégabits pour certaines séquences de tests, un défaut d'égalisation de répéteurs fonctionnant à 2 mégabits et 8 mégabits et la création de diaphonie.

II. - DESCRIPTION DU DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Un dispositif expérimental capable de réaliser l'acquisition, le stockage, le traitement l'archivage du nombre d'intervalles de temps séparant des erreurs successives a été réalisé par le LETI (1). Il est capable de traiter simultanément les informations issues de 12 liaisons numériques et est organisé autour d'un mini-calculateur de type Multi 6 de la Société Intertechnique.

Le schéma fonctionnel du dispositif est reproduit sur la figure 1. Il comprend outre le mini-calculateur :

- 12 codeurs d'intervalles de temps
- une unité de stockage sur disque permettant un traitement différé à l'aide du Multi 6.
- une unité d'archivage sur bande magnétique permettant un traitement différé en centre de calcul.
- des modules assurant les différents couplages.
- des périphériques (télétype, organe de visualisation et table traçante).

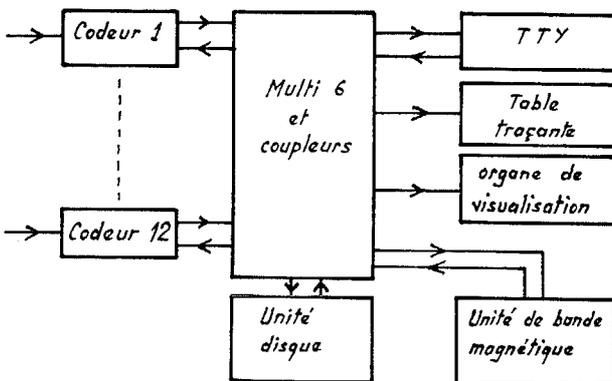


FIG.1 - Schéma du dispositif

Les codeurs réalisent le codage des intervalles de temps selon la loi :

$$A \times 16^B$$

avec une mantisse A comprise entre 0 et 511 et un exposant B compris entre 0 et 7.

Un pas de codage égal à 2, 4,8 ou 16 fois la période d'horloge à 4 MHz permet de diminuer le débit d'informations lorsque le taux d'erreurs est particulièrement élevé compte tenu du nombre de liaisons en observation.

Chaque intervalle de temps est codé sous la forme d'un mot de 16 bits et le transfert vers la zone mémoire du multi 6 s'effectue par blocs de 64 mots. Le transfert final sur disque permet l'acquisition sans perte d'information de tous les intervalles de temps correspondant à un phénomène d'apparition d'erreurs sur une liaison numérique à 2 Mbit/s dont le taux d'erreurs est de  $10^{-2}$ . La capacité du disque disponible pour l'acquisition est de 5 M octets.

Un prétraitement est réalisé en temps différé par le Multi 6. Il comprend en particulier le calcul de l'histogramme des intervalles de temps et le calcul des paramètres caractérisant une distribution en paquets d'erreurs et il est complété par un traitement réalisé en centre de calcul : calcul de corrélation entre voies, modélisation par chaîne de Markov et recherche des paramètres optimums du découpage en paquets d'erreurs.

III. - FONCTIONNEMENT D'UN REPETEUR REGENERATEUR

La figure 2 décrit schématiquement le fonctionnement d'un répéteur régénérateur (2). Il va être montré par la suite que les propriétés statistiques des intervalles de temps entre erreurs dépendent du sous-ensemble mis en cause dans le processus d'apparition des erreurs, qu'il s'agisse du circuit d'égalisation ou de celui de récupération de rythme.

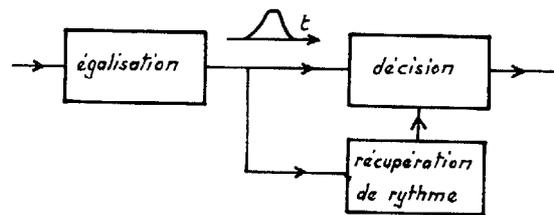


FIG.2 - Schéma simplifié d'un répéteur régénérateur

Le diagramme de l'oeil (figure 3) est obtenu en superposant tous les éléments de signal issus du circuit d'égalisation. H représente l'ouverture de l'oeil et  $t_m$  l'instant de test. On reconnaît un "1" ou un "0" selon que l'impulsion est supérieure ou inférieure au seuil de décision au moment du test et il est particulièrement intéressant que ce test se produise au maximum d'ouverture à cause des déformations possibles de l'oeil.

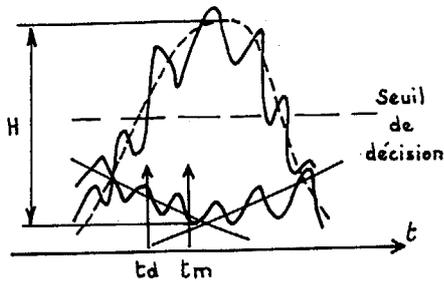


FIG. 3 - Diagramme de l'oeil

IV. - ERREURS PROVOQUEES PAR UN DECALAGE DU CIRCUIT DE RECUPERATION DE RYTHME

Une première cause d'erreurs provient du décalage du circuit de récupération de rythme, simulé ici par un décalage de l'horloge de référence imposant le rythme de la séquence émise.

La figure 4 représente l'histogramme des intervalles entre erreurs portant sur 6342 événements pour une séquence de test pseudo-aléatoire du type  $2^{15}-1$ , un décalage en fréquence de 18 KHz et un taux d'erreurs de  $2 \times 10^{-5}$ .

On remarque que les erreurs portant sur des bits successifs ne représentent que 125 événements (2 %) et que toutes les autres sont espacées d'un multiple de la longueur de la séquence de test. Les 6 premières raies représentent 50 % des événements (moyenne = 6,3 et  $\sigma = 4,3$ ).

Le décalage en fréquence de l'horloge de référence par rapport au rythme récupéré, provoque un décalage de l'instant de test représenté par  $t_d$  sur la figure 3. Il a pour conséquence l'apparition d'erreurs si le test se produit au delà de l'intersection du diagramme de l'oeil avec le seuil de décision.

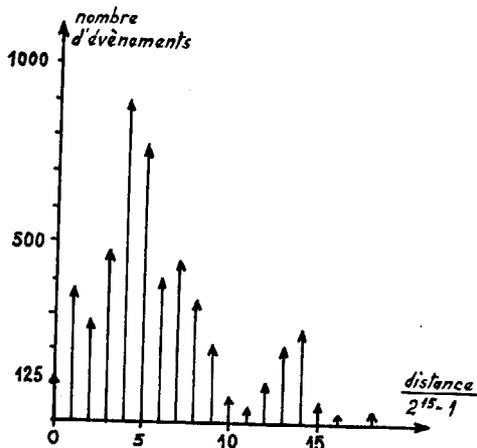


FIG.4 : Histogramme des erreurs créées par décalage de l'horloge de référence.

Le décalage de l'instant de test est composé par la somme d'une composante continue représentant le décalage en fréquence et d'une composante variable représentant la gigue créée par le circuit de récupération de rythme. Les variations d'amplitude de la gigue sont reproduites en fonction du temps sur la figure 5. La courbe est presque périodique, sa période est celle de la séquence de test et on constate la présence d'un pic de gigue plus important que les autres. Ce pic est modulé en amplitude comme l'indiquent les flèches (fig.5) et il y a création d'une erreur isolée chaque fois qu'il dépasse un certain seuil ; ce qui se produit pour des multiples de la longueur de la séquence.



FIG.5. - Variations de la gigue en fonction du temps

V. - ERREURS PROVOQUEES PAR LE MANQUE DE TRANSPARENCE D'UN TERMINAL DE LIGNE

Les mesures sont réalisées sur une version ancienne du terminal de ligne fonctionnant à 8 Mbit/s. Le manque de transparence est caractérisé par la création d'erreurs provoquées par l'utilisation d'une séquence de test particulière appelée "séquence de RICAR". Il s'agit d'une séquence formée par la répétition d'un mot A (A = 1000) répété un grand nombre de fois et suivi d'un mot B (B = 1111) répété le même nombre de fois (540 fois).

L'histogramme des intervalles entre erreurs est reproduit sur la figure 6. Les erreurs concernant deux bits consécutifs sont rares (0,5 %) et toutes les autres sont espacées par un nombre de bits non erronés égal à un multiple de la période de la séquence de test (1080 i.u.). Les 20 premières raies représentent moins de 4 % des événements et l'histogramme des 5000 premières raies est analogue à celui d'une répartition aléatoire des amplitudes.

VI. - ERREURS PROVOQUEES PAR UN DEFAUT D'EGALISATION

L'analyse de la répartition des erreurs provoquées dans un répéteur régénérateur possédant un circuit d'égalisation volontairement détérioré a été réalisée à 2 Mbit/s pour une séquence de test pseudo-aléatoire du type  $2^{15}-1$ . Les bits erronés séparés au plus par trois bits non erronés ne représentent que 825 événements sur 32 000 soit 3 % du total des événements.

Les bits erronés séparés au plus par 512 bits non erronés représentent 11 % du total des événements et si on définit un taux d'erreur instantané par l'inverse de la distance entre erreurs consécutives il apparaît que seulement 11 % des événements correspondent à un taux d'erreur supérieur ou égal à  $2 \times 10^{-3}$ .



ANALYSE DU PROCESSUS D'APPARITION DES ERREURS INTRODUITES DANS LES SYSTEMES DE TRANSMISSION NUMERIQUE

ANALYSIS OF THE ERROR PROCESS ON DIGITAL TRANSMISSION SYSTEMS.

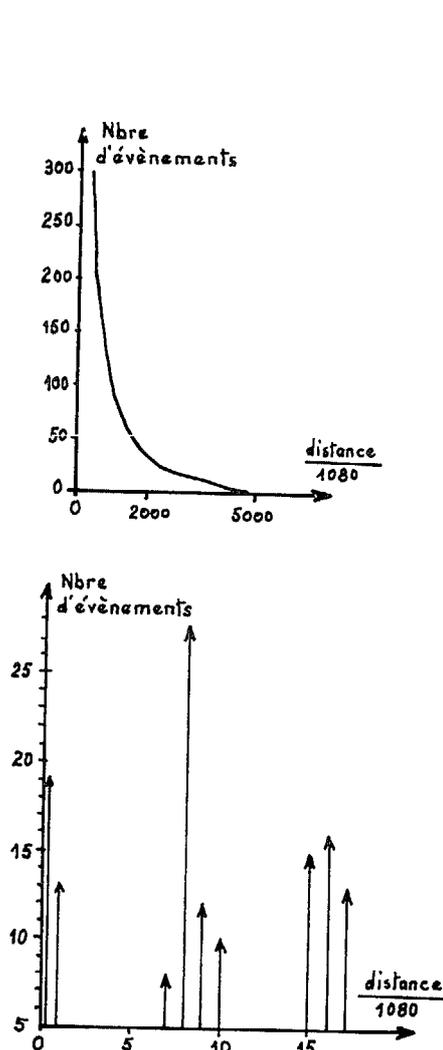


FIG. 6. - Histogramme des erreurs provoquées par manque de transparence du terminal de ligne.

L'examen de l'histogramme des distances entre événements ramenées à des multiples de 512, montre la présence d'une raie double correspondant à la périodicité de la séquence de test  $2^{15}-1$ . Les autres raies correspondent en général à des distances beaucoup plus courtes et ne semblent pas liées au type de séquence de test (figure 7).

La cause principale d'erreurs se situe dans ce cas au niveau du circuit d'égalisation mais le circuit de récupération de rythme se trouvant en aval et recevant des impulsions déformées par une mauvaise égalisation, il n'est pas étonnant qu'il participe lui aussi pour une certaine part à l'apparition d'erreurs au niveau du circuit de décision.

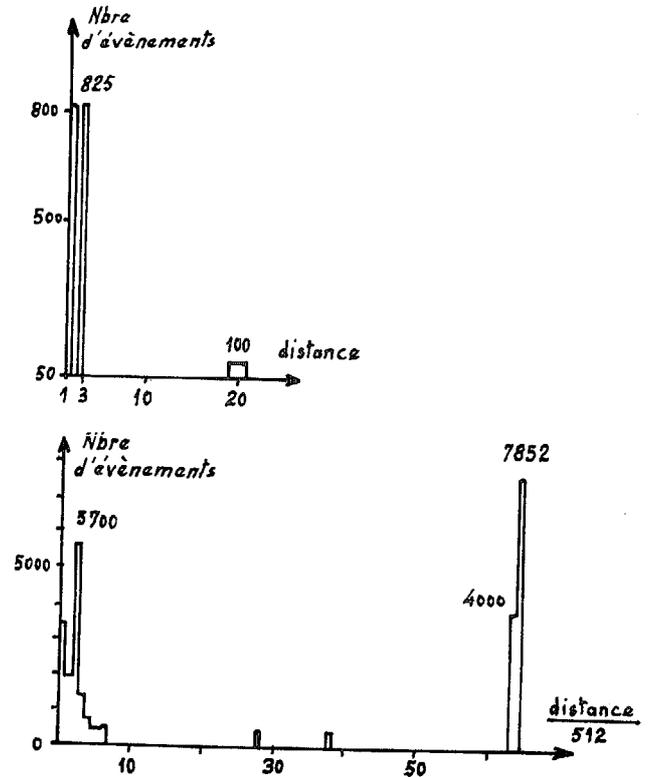


FIG.7 - Histogramme des erreurs provoquées par défaut d'égalisation (séquence de test du type  $2^{15}-1$ ).

VII. - ERREURS PROVOQUEES PAR DIAPHONIE

L'analyse de la répartition des erreurs provoquées par un phénomène de diaphonie a été réalisée sur une liaison fonctionnant à 2 Mbit/s et pour une séquence de test du type  $2^{15}-1$ . Le nombre d'erreurs prises en compte était supérieur à un million et le taux d'erreurs voisin de  $10^{-6}$ .

La figure 8 représente l'histogramme des distances entre erreurs successives exprimées en nombre d'intervalles unitaires (i.u.). Cet histogramme ne tient compte que des distances inférieures à 80 i.u. ; il porte sur 3900 événements représentant 0,4 % de la totalité des erreurs. On sait d'autre part que 15 % des événements correspondent à une distance inférieure à 8000 i.u.

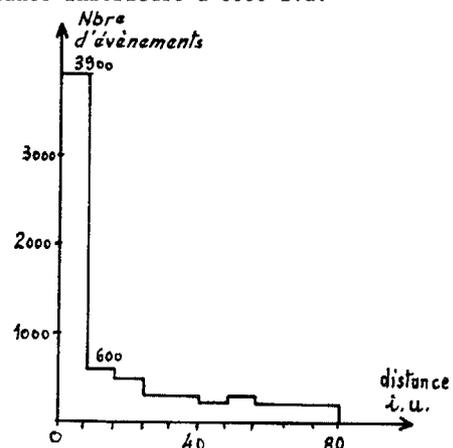


FIG.8 : Histogramme des erreurs provoquées par diaphonie (en multiples de l'intervalle unitaire).

La figure 9 représente l'histogramme des distances entre erreurs successives ramenées à des multiples de la périodicité de la séquence de test. On remarque l'influence négligeable de la séquence de test puisqu'elle n'intervient que pour 0,5 % des événements. Les distances entre erreurs supérieures à quatre fois la séquence de test ne sont pas prises en compte sur la figure 9 ; elles correspondent à 16 % des événements.

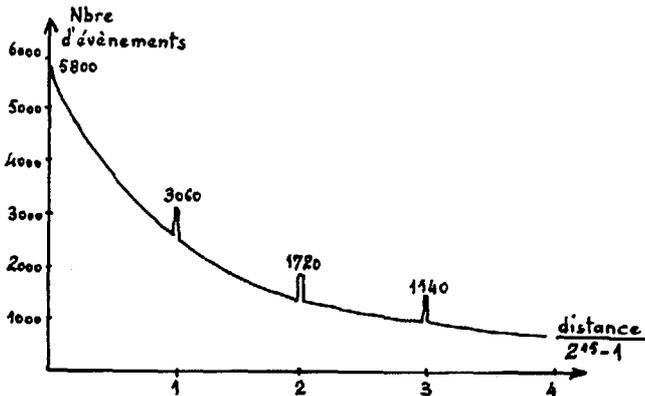


FIG. 9 : Histogramme des erreurs provoquées par diaphonie (en multiples de la longueur de la séquence de test).

L'interprétation du phénomène peut être la suivante : la diaphonie perturbe la forme du diagramme de l'oeil de manière aléatoire de sorte que la position de l'instant de test a peu d'influence (figure 3). Il suffit donc que ces perturbations soient suffisamment importantes et aléatoires pour que la statistique des erreurs obtenues possède elle aussi des caractéristiques aléatoires.

#### VIII. - CONCLUSION

Une comparaison des histogrammes obtenus à partir des différentes sources d'erreurs utilisées souligne surtout le rôle prépondérant de ces sources, favorisant dans l'histogramme l'apparition des raies liées à la périodicité de la séquence de test chaque fois qu'il y a intervention du circuit de récupération de rythme dans le processus d'apparition des erreurs. Il s'agira dans une étape ultérieure de tenter de modéliser les diverses structures d'erreurs possibles en s'appuyant sur l'ensemble des résultats expérimentaux recueillis ; une première étape de cette modélisation consistant à mieux définir la notion de "paquet d'erreurs".

Les résultats des mesures qui viennent d'être décrits montrent la grande finesse d'analyse du système d'étude utilisé. Les possibilités de ce système seront encore améliorées dans une phase ultérieure et l'expérience acquise sur des liaisons expérimentales sera utilisée avec profit sur des liaisons réellement en exploitation (3), (4), (5).

Un tel dispositif devrait permettre de répondre aux besoins des différents services qui utilisent des canaux de transmission. Il est capable de fournir des statistiques d'erreurs sur des liaisons ou des équipements et la résolution obtenue est suffisante pour caractériser les principales causes d'erreurs ainsi que leur processus d'apparition.

#### - B I B L I O G R A P H I E -

- (1) - GARDERET, LANINO, THEVENIN, URIEN

Système d'acquisition et de pré-traitement statistique des erreurs introduites dans les systèmes de transmission numérique.

Colloque de l'URSI - LANNION - 3-7 Oct.1977  
La mesure dans les Télécommunications.

- (2) - J. BOULVIN

Transmission numérique sur câbles  
Numéro particulier de Câbles et Transmission -  
Dec.1975

- (3) - M.URIEN - Publication interne au CNET  
(1975 et 1978)

- (4) - G. THERON - Publication interne au CNET (1978)

- (5) - F. RUHAULT - Publication interne au CNET (1978)