

Les mesures de taux d'erreur en diffusion de données

par G. DUBLET*, Ingénieur au CCETT

Résumé

Le système expérimental de diffusion par paquets conçu et réalisé par le C.C.E.T.T.* est destiné à couvrir de façon satisfaisante toute l'étendue du territoire.

On doit donc s'assurer de la bonne qualité des données reçues en divers points en même temps que l'on doit vérifier le bon fonctionnement des équipements de réception.

Un dispositif expérimental de mesures et d'analyse des erreurs a été mis en place.

Les premières mesures effectuées ont porté sur le comportement des équipements de réception en présence d'un signal bruité.

INTRODUCTION

L'arrivée prochaine des nouveaux services de communication sociale a nécessité la mise en place d'un système de transmission de données numériques sur les supports existants de diffusion des images de télévision et en cohabitation avec celles-ci. On se reportera avec intérêt à l'article de Monsieur NOIREL dans le N° 40 de la revue, qui décrit le système expérimental de diffusion par paquets tel qu'il a été conçu et réalisé au C.C.E.T.T.

C'est un système nouveau, il est donc perfectible et l'on doit pouvoir mesurer les effets des améliorations successives au cours de la mise au point. Des équipements différents doivent être comparés entre eux, des mesures de protection contre les erreurs sont étudiées et l'on doit être capables d'en apprécier les résultats.

C'est un système public ; à ce titre on doit pouvoir garantir un certain niveau de qualité de service dont la connaissance à priori pourra dicter à l'utilisateur les mesures de protection appropriées.

D'où proviennent les erreurs ?

* C.C.E.T.T. : Centre Commun d'Études de Télévision et des Télécommunications

— D'abord des récepteurs qui sont affectés des distorsions habituelles ; dans notre cas, elles ont pour conséquence principale des interférences intersymboles génératrices d'erreurs au moment de l'échantillonnage des données. L'article de Monsieur VARDON dans cette même revue développe longuement ce problème.

— Ensuite, les perturbations de la propagation des ondes hertziennes. L'atmosphère n'est évidemment pas un milieu parfaitement transparent aux ondes ; sa traversée, non seulement provoque des distorsions mais encore ajoute au signal des composantes telles que le bruit, les échos, les parasites industriels...

I — LES TYPES D'ERREURS RENCONTREES

La figure 1 nous rappelle la structure du paquet de données.

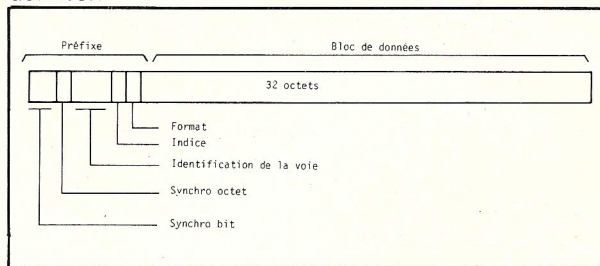


Figure 1 — Structure du paquet de données

Il comporte un préfixe, ou en-tête, composé de 8 octets :

- Deux octets de synchronisation bit
 - Un octet de synchronisation octet
 - Trois octets d'identification de la voie
 - Un octet d'indication des paquets
 - Un octet de format
- suivi d'un bloc de données de 32 octets.

On conçoit aisément que les dégradations successives du signal représentant le paquet de données interviendront indifféremment sur toutes ses parties. Ainsi, les octets de préfixe et octets de données comporteront les uns comme les autres un certain nombre d'erreurs ; mais celles-ci n'auront pas les mêmes conséquences pour l'utilisateur. Une erreur sur l'un des trois octets d'identification par exemple, se traduira par la non-reconnaissance du paquet, d'où la perte du bloc de données qu'il contient. De même, une erreur sur le format pourra faire perdre un certain nombre d'octets du bloc.

Nous nous attacherons donc à mesurer deux types principaux d'erreurs :

- Les erreurs sur le préfixe, qui conduisent généralement à la perte d'information.
- Les erreurs sur le bloc de données lui-même.

II - PRINCIPE DE LA MESURE

Pour ce qui est du préfixe, il est assez facile d'en analyser les anomalies. Les informations qu'il contient ne sont en effet pas quelconques. Ainsi, le format est un nombre compris, dans la norme actuelle, entre 1 et 32 ; toute valeur supérieure sera comprise comme une erreur. L'octet d'indice est un nombre compris entre 0 et 127 dont la valeur est incrémentée de une unité à chaque nouvel envoi d'un paquet sur la voie considérée ; il sera donc aisé d'y détecter un défaut par non respect de cette séquence simple. Quant aux erreurs sur les trois octets d'identification de voie ainsi que sur l'octet de synchronisation, nous verrons qu'elles peuvent être déduites des mesures faites sur les octets du bloc de données.

Plus difficile est la mesure des erreurs sur le bloc de données. Le choix de l'information témoin est d'une grande importance.

D'une part, elle doit avoir une structure telle qu'elle recouvre tout l'éventail des configurations possibles de l'information future à transmettre, d'autre part, cette structure devra être telle que, bien que ne disposant pas de la référence (qui se trouve au niveau de l'émetteur) on puisse extraire les erreurs au niveau du récepteur au moyen de circuits logiques simples.

Les séquences de signaux pseudo-aléatoires répondent à ces exigences.

2.1 Propriétés des séquences pseudo-aléatoires

Les séquences pseudo-aléatoires ont l'avantage de simuler de façon correcte des séquences de bits tirées au hasard ; malgré cela, leur génération ne requiert qu'un nombre limité de circuits.

Trois propriétés essentielles caractérisent ces séquences. Soit un nombre entier n .

Une séquence de bits pseudo-aléatoire sera une suite de $2^n - 1$ bits tels que :

- 1 - Tout bit de la séquence a une probabilité égale à $\frac{1}{2}$ de prendre la valeur 1 (ou 0). Plus exactement, si $q = 2^n - 1$, nous aurons dans la séquence : $\frac{q+1}{2}$ bits à 1 et $\frac{q-1}{2}$ bits à 0.

- 2 - Le coefficient d'auto-corrélation τ de la séquence est une fonction à deux valeurs telle que, si d est la distance séparant deux bits :

$$\tau(d) = 1 \text{ pour } d = 0$$

$$\tau(d) = \frac{1}{9} \quad \forall d \neq 0$$

- 3 - la longueur maximale d'une suite de 1 consécutifs est $\ell = n$ et il y en a une seule. De plus une séquence de « 1 » de longueur ℓ a une occurrence double d'une séquence de longueur $\ell + 1$.

2.2 Génération des séquences pseudo-aléatoires

Il est commode d'associer à toute suite de n bits un polynôme de degré $n - 1$ dont les coefficients seront soit nuls, soit égaux à 1 selon la valeur des bits qu'ils représentent. Ainsi, le polynôme $x^7 + x^6 + x^3 + x + 1$ correspondra à la séquence 1100 1011. Ils seront soumis à l'algèbre booléenne munie de l'opération d'addition modulo 2.

On montre que le polynôme $Q(x)$ résultat de la division d'un polynôme $P(x)$ par un polynôme $G(x)$, dit polynôme générateur de degré n peut constituer une séquence pseudo-aléatoire de longueur $2^n - 1$.

Pour cela, deux conditions à remplir :

- $G(x)$ et $P(x)$ doivent être premiers entre eux.
- $G(x)$ doit être irréductible.

Le choix fait au C.C.E.T.T. est le suivant :

$$P(x) = 1$$

$$G(x) = x^{11} + x^2 + 1$$

qui permet de générer une séquence de 2047 bits.

2.3 Principe d'extraction des erreurs

La séquence pseudo-aléatoire $Q(x)$ est envoyée sur le réseau à tester.

A la réception, on obtiendra le polynôme :

$$R(x) = Q(x) + E(x)$$

où $E(x)$ symbolise les erreurs de transmission que l'on désire extraire du message $R(x)$.

A $R(x)$, nous appliquerons l'opération de multiplication par $G(x)$:

$$R(x) \xrightarrow{\times G(x)} R'(x)$$

$$R'(x) = Q(x) \times G(x) + E(x) \times G(x)$$

$$R'(x) = P(x) + E(x) \times G(x) \quad (\text{car } Q(x) = \frac{P(x)}{G(x)})$$

Or, nous avons choisi $P(x) = X^0 = 1$

Nous pouvons donc considérer que, après une période d'initialisation, les coefficients de $P(x)$ sont tous nuls, de sorte que :

$$R'(x) = E(x) \times G(x)$$

Il ne reste plus qu'à appliquer l'opération de division par $G(x)$ pour trouver le polynôme d'erreurs $E(x)$ cherché :

$$R'(x) \xrightarrow{\div} R''(x)$$

$$R''(x) = \frac{E(x) \times G(x)}{G(x)}$$

$$R''(x) = E(x)$$

Cette méthode d'extraction est intéressante à un second titre ; elle nous permet de détecter indirectement la perte d'information due, comme nous l'avons vu, à une perturbation de l'en-tête du paquet.

La perte d'un certain nombre de bits d'information équivaut à un décalage, à partir d'un certain rang, des coefficients de $R(x)$, ce qui, on le devine, aboutira à un résultat complètement erroné de la multiplication $R(x) \times G(x)$. On parle alors de désynchronisation, qui se détecte facilement par un «taux d'erreur» tendant vers $\frac{1}{2}$.

III – DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Rappelons que l'objet des mesures peut être de deux ordres : soit le contrôle et la mise au point des récepteurs, soit le contrôle de la qualité de la transmission.

3.1 Support informatique

Il est clair que ce genre de mesure ne vaut que pas son aspect statistique, qui sous-entend le traitement d'une masse importante de données que seul un calculateur pourra mener à bien. De plus, l'utilisation des moyens d'édition informatiques nous permettent une présentation claire et précise des résultats.

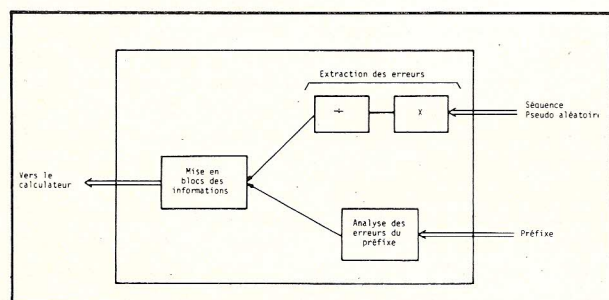
Les données fournies par le calculateur sont de deux types :

- Des résultats chiffrés sous forme de taux d'erreur, concernant aussi bien le préfixe que les bits de données.
- Des résultats graphiques sous forme d'histogrammes.

3.2 L'équipement d'analyse des erreurs

En plus des équipements propres à la diffusion de données par paquets, la mesure des erreurs requiert un équipement spécifique d'analyse (figure 2).

Figure 2 – Equipement d'analyse des erreurs



3.3 Mesure des défauts des récepteurs

La figure 3 montre le dispositif expérimental utilisé pour tester et comparer les divers équipements de réception de données.

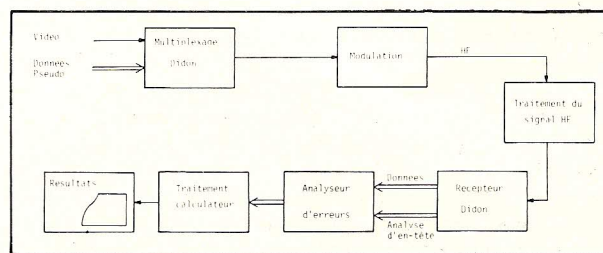


Figure 3 – Dispositif expérimental utilisé pour tester et comparer les divers équipements de réception de données

Il a pour mission d'extraire d'un équipement de réception, d'une part les informations sur le préfixe dont il analyse les défauts, d'autre part les séquences pseudo-aléatoires (les blocs de données) dont il extrait les erreurs par la méthode de la multiplication – division exposée plus haut.

L'ensemble est regroupé selon un format précis sous forme d'une suite d'octets et transmis, par une jonction normalisée, à un calculateur.

Nous trouvons dans un même laboratoire l'ensemble du matériel d'émission, multiplexeur vidéo-données et modulateur HF et du matériel de réception, objet du test. Le signal HF pourra éventuellement subir des détériorations volontaires et contrôlées afin de tester les réactions des récepteurs. On étudiera par exemple leur comportement vis-à-vis du bruit, des échos, des parasites...

3.4 Mesure de la qualité de la transmission

Ici, on devra s'affranchir au maximum des imperfections des matériels aussi bien à l'émission qu'à la réception, afin d'isoler au mieux et de mettre en évidence les défauts occasionnés par les perturbations hertziennes. On utilisera donc exclusivement du matériel professionnel, modulateur, démodulateur, récepteur de données à hautes performances. La figure 4 nous montre le dispositif expérimental mettant en oeuvre un émetteur de télévision et un système complet de réception et d'analyse portable utilisant un enregistreur numérique à bandes magnétiques.

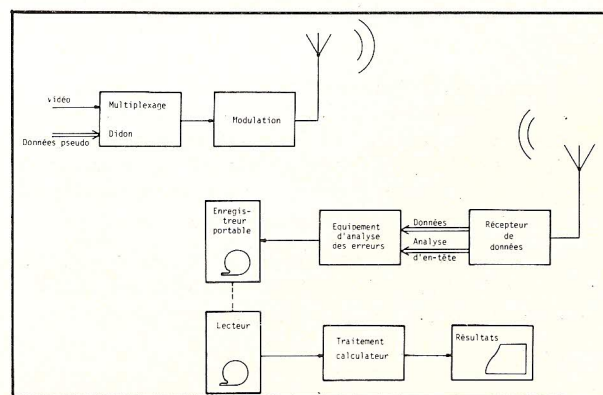


Figure 4 – Mesure de la qualité de transmission

IV – INTERPRETATION DES PREMIERS RESULTATS

Les premières mesures ont porté sur l'influence du niveau HF d'entrée sur les récepteurs de données.

Si le niveau HF est faible, l'étage d'entrée, grâce à sa commande automatique, verra son gain augmenter, contribuant ainsi à dégrader le rapport signal/bruit du signal vidéo dans lequel il s'agira d'extraire les données numériques.

4.1 Uniformité des erreurs sur la ligne

La structure du bruit affectant le signal est évidemment complètement indépendant de la structure de la ligne. Par conséquent, les différentes parties du paquet doivent être affectées de façon uniforme par la perturbation. Dans le cas contraire, cela signifierait qu'un autre paramètre influe sur le taux d'erreur traduisant un défaut du récepteur.

La figure 5 nous montre que les résultats obtenus sont satisfaisants à cet égard.

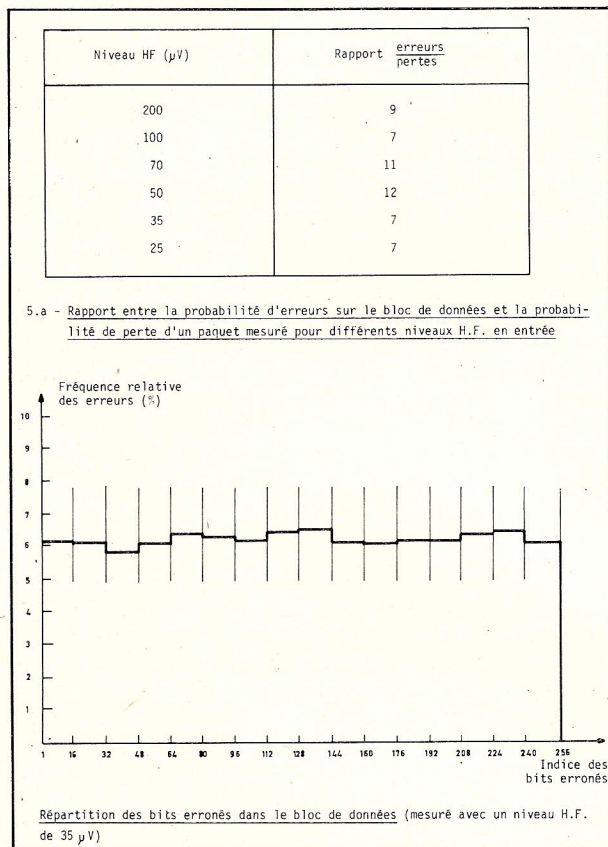


Figure 5 — Résultats montrant la bonne répartition des erreurs sur la ligne de données

1 — Le rapport entre la probabilité d'erreurs sur le bloc de données (32 octets) et la probabilité de perte d'un paquet (qui suppose la perturbation de l'un des 3 octets d'identification de voie ou de l'octet de départ) est d'environ 8, donc proportionnel aux nombres d'octets impliqués.

2 — La répartition des erreurs sur le bloc de données lui-même (fournie par le calculateur) est sensiblement uniforme depuis le premier bit jusqu'au dernier.

4.2 Taux d'erreur bits et perte de blocs

La figure 6 indique le taux d'erreur bit ainsi que le taux de perte de blocs en fonction du niveau HF, obtenus avec un équipement classique de réception (téléviseur grand public, récepteur de données expérimental). On constate que la qualité des équipements se maintient à un niveau très honorable jusqu'à une amplitude HF de l'ordre de 100 μV , pour laquelle le

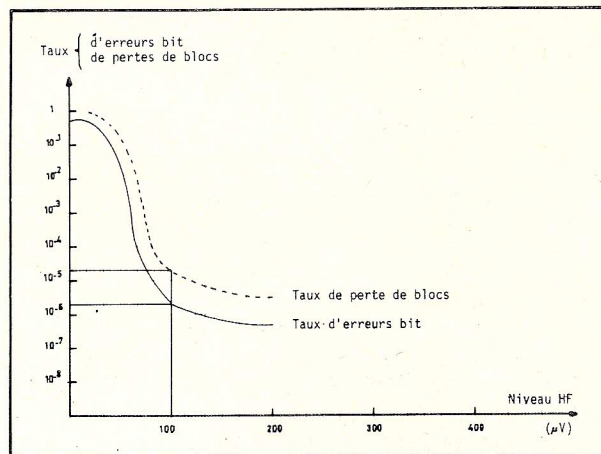


Figure 6 — Taux d'erreurs bit et taux de pertes de blocs en fonction du niveau HF en entrée du récepteur

taux d'erreurs bit est meilleur que 10^{-6} et le taux de perte de blocs de l'ordre de 10^{-5} .

Nous avons reporté sur la figure les mêmes résultats en fonction du rapport signal/bruit non pondéré du signal vidéo. Nous constatons par exemple que pour un rapport S/B de 25 dB, qui correspond à une image très dégradée (qualité 2 de l'échelle CCIR), nous obtenons un taux d'erreurs bit de l'ordre de 10^{-6} .

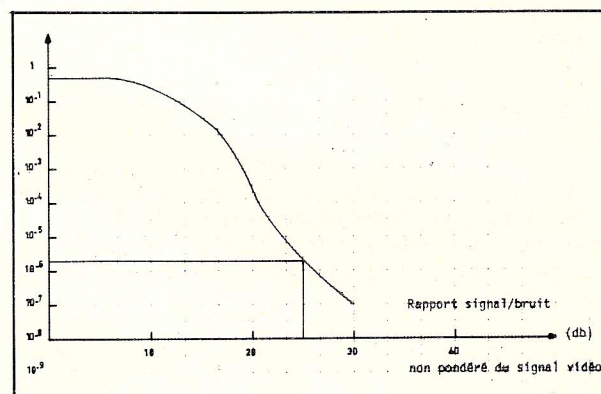


Figure 7 — Taux d'erreurs bit en fonction du rapport signal/bruit non pondéré du signal vidéo

CONCLUSION

Les premiers résultats expérimentaux dont nous disposons sont encourageants quant à la possibilité de recevoir les données avec un faible taux d'erreur.

Les mesures faites sur les taux d'erreur en fonction du niveau de champ disponible laisse présager un fonctionnement correct dans les zones normales de couverture du réseau TDF. N'oublions pas toutefois que, comme souvent l'exception est de règle ; les cas de réception difficile sont nombreux sur le territoire, que ce soit dans les zones urbaines (parasites, échos, installation d'antenne collective défectueuse...), que dans les régions de montagne (faiblesse particulière du champ, interférences...).

C'est pourquoi des campagnes de mesures systématiques sont entreprises afin de dresser une cartographie détaillée des possibilités d'exploitations du système de diffusion de données par paquets.