

IMPACT DU BRUIT IMPULSIF SUR LES SIGNAUX XDSL ET ANALYSE DES TECHNIQUES DE CORRECTION

Mohamed TLICH *, Rabah TARAFI**, Frédéric GAUTHIER** et Ahmed
ZEDDAM **

(*): INNOVAS, mohamed.tlich@orange.fr - (**): France Télécom R&D,
(rabah.tarafi, frederic.gauthier, ahmed.zeddami)@orange-ftgroup.com

Résumé. Dans cet article, les résultats de mesures de bruits impulsifs de durées respectives 5ms et 500ms sont exploités afin de construire, dans un premier temps un modèle mathématique des inter-arrivées entre bruits impulsifs, puis pour évaluer leurs effets en terme de secondes erronées.

Ensuite, sont analysés les pouvoirs correcteurs de deux techniques de correction d'erreurs couramment utilisées dans les transmissions DSL : l'INP (Impulse Noise Protection) et le FEC (Forward Error Correction).

I. INTRODUCTION

Il est indéniable que le bruit impulsif admet un impact significatif sur la qualité des services temps réel délivrés par les technologies DSL [1]. Le bruit impulsif est un bruit à durée courte (de quelques μ s à quelques ms) qui est généré par des perturbateurs électromagnétiques (moteurs, lampe halogène...). Ce bruit impulsif ne réduit pas la bande passante ni le débit de la liaison, mais peut causer l'apparition de courtes séries de bits erronés et par conséquent la perte de paquets Ethernet. Le bruit impulsif n'est donc pas un problème consistant pour les services Internet, mais peut endommager sévèrement les services vidéo, et plus généralement les services temps réel.

Actuellement, l'augmentation de la robustesse de la transmission DSL vis à vis du bruit impulsif est un sujet important dans de nombreux standards. Des mécanismes tels que l'INP (Impulse Noise Protection) [2] font déjà partie des standards ADSL2, ADSL2+ [4] et VDSL2 [5]. Le FEC (Forward Error Mechanism) [6] a aussi fait son apparition pour protéger les flux TV sur lignes ADSL [3], ADSL2 et ADSL2+ [4]. Comme nouvelle alternative pour contrer les effets du bruit impulsif dans le DSL, des techniques de retransmission sont en train d'être considérées dans les standards VDSL.

L'INP est en réalité une mesure de capacité de correction d'erreurs par les modems DSL. En effet, INP = n signifie que le modem en question est capable

de corriger n symboles DMT avec tous les bits erronés.

Quant au FEC, il est issu de groupe de normalisation Pro MPEG Forum [7]. Cette technique a le mérite de la simplicité, puisque les codes correcteurs d'erreur y sont produits au moyen d'une simple opération de « ou exclusif » (XOR). En effet, après avoir disposé les paquets en matrices (e.g. en lignes et en colonnes), le codeur situé en tête de réseau applique l'opération XOR à chacune de ces lignes et de ces colonnes pour constituer des codes de protection anti-erreurs, lesquels sont ensuite insérés en face des lignes et colonnes pour former les « matrices FEC ».

Dans cet article, deux campagnes de mesures de bruits impulsifs de durées respectives 5ms effectuées dans 5 sites et 500ms dans 4 sites sont effectuées. Les inter-arrivées entre les bruits impulsifs enregistrés sont d'abord analysées et modélisées. Ensuite, sont évalués les pouvoirs correcteurs de l'INP et du FEC. Sont aussi quantifiés temporellement les effets des bruits enregistrés en terme de secondes impactées.

II. DISPOSITIF D'ACQUISITION DES BRUITS IMPULSIFS

Le dispositif expérimental d'acquisitions des bruits impulsifs est représenté sur la figure 1. Les bruits sont mesurés en temporel à l'aide d'un oscilloscope numérique, via un balun 120/50 Ohms connecté à une prise du réseau téléphonique. Le balun sert à adapter les mesures à l'impédance des lignes téléphoniques (120 Ohms).

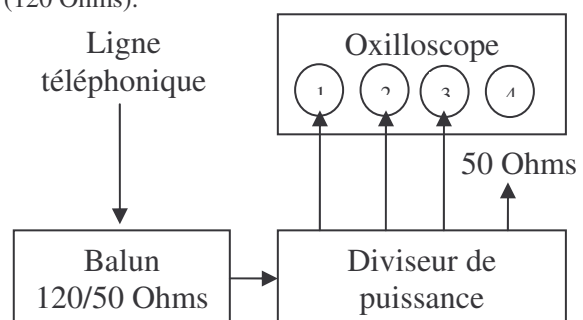


Figure 1: Dispositif de mesures de bruits impulsifs

Les mesures de bruits impulsifs ont été réalisées selon deux configurations différentes. Dans la première configuration, effectuée dans 5 sites, la durée des acquisitions a été fixée à 5ms. Ces premières mesures serviront à évaluer les performances de l'INP. Quant à la deuxième configuration, elle a été effectuée dans 4 sites et la durée des acquisitions a été égale à 500ms, afin d'évaluer les performances du système de correction FEC.

Le bruit est enregistré sur plusieurs voies de l'oscilloscope avec pour chacune une sensibilité différente. Ceci permet d'avoir à la fois une bonne sensibilité pour les bruits de faible amplitude et de ne pas écrêter les bruits de forte amplitude. Notons enfin que la fréquence d'échantillonnage était de 100 MHz.

II. MODELISATION DES INTER-ARRIVEES ENTRE BRUITS IMPULSIFS

Notons:

- I = inter-arrivée en secondes entre bruits impulsifs enregistrés.
- $P_I(I > x)$ = probabilité que I est plus grand que x secondes.

Dans nos mesures, un bruit impulsif à inter-arrivée égale à 0 veut dire qu'il se trouve dans la même seconde que le bruit impulsif précédent. En effet, les instants d'acquisition des bruits sont à la seconde près.

Comme le montre la Figure 2, dans laquelle est reportée $P_I(I > x)$ en fonction de x secondes, nous proposons de modéliser $P_I(I > x)$ par :

$$P_I(I > x) = 0.3459 * e^{-0.1 * x^{0.51}} \quad (1)$$

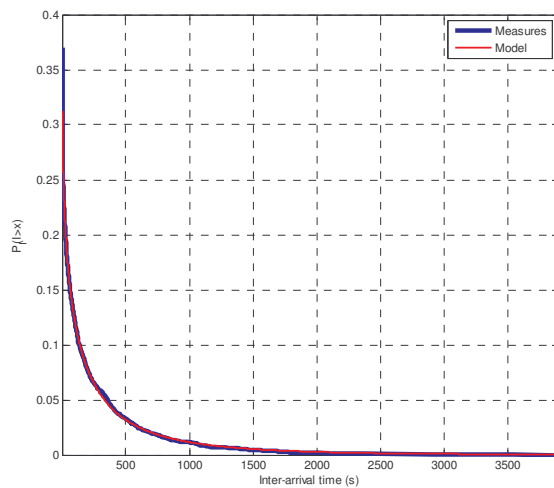


Figure 2 : $P_I(I > x)$ en fonction de x

Pour $x > 1$, la probabilité $P_I(I = x)$ que l'inter-arrivée soit égale à x secondes est calculée par la formule:

$$P_I(I = x) = P_I(I > x - 1) - P_I(I > x) \quad (2)$$

Pour $x > 1$, $P_I(I = x)$ est ainsi égale à :

$$P_I(I = x) = 0.3459 \left[e^{-0.1 * (x-1)^{0.51}} - e^{-0.1 * x^{0.51}} \right] \quad (3)$$

$P_I(I = 0)$ et $P_I(I = 1)$ sont respectivement les probabilités qu'un bruit impulsif se manifeste dans la même seconde et dans la seconde suivante, et sont calculés par :

$$\sum_{x \geq 0} P_I(I = x) = 1 \Rightarrow P_I(I = 0) + P_I(I = 1) + 0.313 = 1 \quad (4)$$

$$\Rightarrow P_I(I = 0) + P_I(I = 1) = 0.687 \quad (5)$$

Les résultats de mesures ont montré que $P_I(I = 0) = 3.75 * P_I(I = 1)$.

$$\text{On obtient : } \begin{cases} P_I(I = 0) = 0.5424 \\ P_I(I = 1) = 0.1446 \end{cases} \quad (6)$$

D'autres valeurs de $P_I(I = x)$, $x > 1$ avec notre modèle sont :

$$\begin{aligned} P_I(I = 2) &= 0.013 \\ P_I(I = 3) &= 0.0097 \\ P_I(I = 4) &= 0.0079 \\ P_I(I = 5) &= 0.0068 \\ &\vdots \\ P_I(I = 10) &= 0.0043 \\ &\vdots \\ P_I(I = 100) &= 0.00065161 \end{aligned} \quad (7)$$

La probabilité construite $P_I(I = x)$, $x \geq 0$ satisfait bien:

$$\sum_{x=0}^{3889} P_I(I = x) = 0.9996 \approx 1 \quad (8)$$

Les Figures 3 et 4 donnent, pour deux zooms différents, $P_I(I = x)$ calculée par le modèle précédent puis directement à partir des inter-arrivées mesurées, i.e. selon la formule :

$$P_I(I = x) = \frac{\text{Nombre des inter-arrivées mesurées} = x}{\text{Nombre total des inter-arrivées mesurées}} \quad (9)$$

On note que le modèle proposé suit bien les probabilités mesurées.

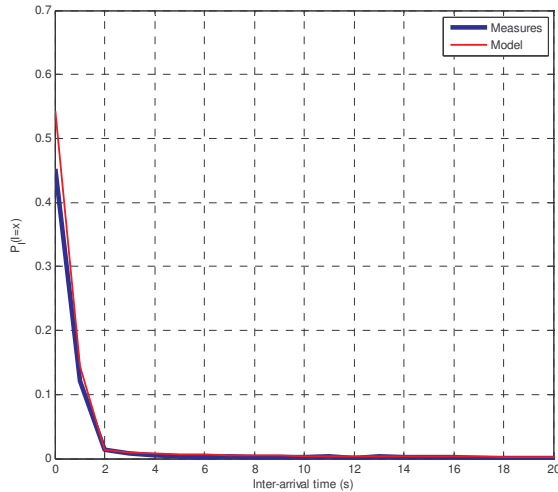


Figure 3: $P_I(I=x)$ en fonction de x – zoom [0 20]

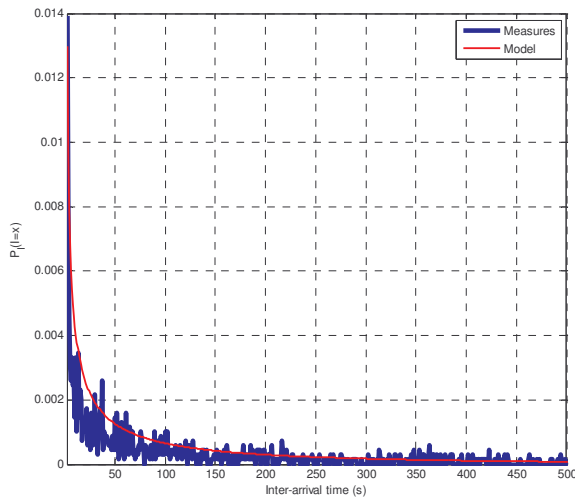


Figure 4: $P_I(I=x)$ en fonction de x – zoom [2 500]

III. QUANTIFICATION TEMPORELLE DE LA PRESENCE DE BRUITS IMPULSIFS

Dans cette section l'effet des bruits impulsifs mesurés est quantifié en terme de secondes impactées. Ceci peut être intéressant pour prédire par exemple l'importance du phénomène de "pixellisation" dans les transmissions vidéo.

Pour effectuer ceci une approche système est appliquée aux bruits impulsifs mesurés :

- chaque bruit est découpé en symboles OFDM de durées $250\mu\text{s}$ (égale à la durée du symbole OFDM ADSL),
- une Transformée de Fourier Rapide (TFR) est appliquée à chaque symbole OFDM temporel,
- une estimation du spectre moyen du bruit stationnaire est effectuée à partir des symboles non affectés (temporellement) par le bruit impulsif,

- les symboles OFDM erronés sont ceux dont le spectre fréquentiel dépasse le spectre moyen du bruit stationnaire de la mesure en question d'au moins Γ dB.

Γ étant le Gap [8, 9] défini comme étant la valeur maximale d'augmentation de bruit, tout en maintenant un TEB (Taux d'Erreur Binaire) inférieur à 10^{-7} bits/s. Il est donné par :

Γ (dB) = 9.9 dB – gain de codage (\approx 4 dB) + marge de bruit (couramment fixée à 6 dB).

- Une seconde est considérée affectée si elle contient au moins un symbole OFDM erroné.

La Table 1 donne, pour chaque site, les durées des enregistrements de bruits impulsifs et le nombre de secondes impactées lorsque aucun système de correction d'erreurs n'est appliqué.

Site	Durées des mesures	Nombre de secondes impactées
1	~ 9 h	3405
2	~ 19 h	660
3	~ 3 h	127
4	~ 19 h	452
5	~ 24 h	523
6	~ 23 h	886
7	~ 21 h	2062
8	~ 22 h	211
9	~ 22 h	331

Table 1: Quantification temporelle de la présence de bruits impulsifs

Le nombre de secondes erronés est particulièrement important pour les sites 1 et 7 avec en moyenne 6.3 et 1.6 minutes de pixellisation par heure. Ce nombre reste aussi considérable, mais beaucoup moins important, pour les sites 2 à 6 en variant entre 23 et 42 secondes erronées par heure. Et encore moins important pour les sites 8 et 9 avec respectivement 9.5 et 15 secondes erronées par heure en moyenne.

IV. ESTIMATION DU POUVOIR CORRECTEUR DU L'INP

La quantification temporelle des secondes erronées est aussi estimée en présence de la protection INP, et ce seulement pour les mesures de durée égale à 5ms. Un bruit impulsif est corrigible par un INP=2 (resp. INP=4) si et seulement si le nombre de symboles OFDM qu'il endommage est inférieur ou égal à 2 (resp. à 4).

La Table 2 donne, pour les 5 premiers sites, le nombre de secondes impactées sans protection INP, puis avec INP 2 et INP 4.

Site	Secondes impactées sans INP	Secondes impactées avec INP =2	Secondes impactées avec INP= 4
1	3405	1370 (-60%)	776 (-77%)
2	660	191 (-71%)	51 (-92%)
3	127	62 (-51%)	37 (-71%)
4	452	213 (-53%)	88 (-81%)
5	523	396 (-24%)	304 (-42%)

Table 2: Quantification temporelle du pouvoir correcteur de l'INP.

Avec INP=2, la réduction des secondes impactées est importante pour les sites 1 et 2 (respectivement avec 60% et 71% d'erreurs corrigées). Pour les sites 3 et 4, la protection avec INP=2 reste moyenne en corrigeant presque le moitié des secondes erronées, et insignifiante pour le site 5 (76% des erreurs ne sont pas corrigées).

Par contre, avec INP=4 l'apport en protection contre les bruits impulsifs est très significatif pour les 4 premiers sites (avec un taux de correction supérieur à 71%) et insuffisant pour le site 5 (seulement 42% des secondes erronées sont corrigées).

IV. ESTIMATION DU POUVOIR CORRECTEUR DU FEC

Ici sont considérés les mesures à durées égales à 500ms (sites 6 à 9). En effet, la matrice FEC peut corriger des bruits à durées totales¹ allant jusqu'à 400ms. La durée de chaque ligne de la matrice FEC étant égale à 40ms, les bruits à durées totales inférieures à 40ms sont donc corrigibles par le FEC. Mais ceux qui ont les durées totales supérieures à 40ms peuvent ne pas l'être, et sont donc susceptibles de générer des erreurs de transmission même si le FEC est déployé.

Dans la Table 3 sont reportés les pourcentages de bruits impulsifs à durées totales supérieures à 40ms.

Site	Pourcentage des bruits > 40ms
6	20 %
7	88 %
8	19 %
9	22 %

Table 3: Pourcentage des bruits impulsifs à durées totales supérieures à 40ms.

Ainsi, le FEC n'est, à priori, pas performant pour le site 7, mais s'avère performant pour les 3 sites restants.

IV. CONCLUSION

Dans cet article, les résultats de mesures de bruits impulsifs de durées respectives 5ms et 500ms ont été

¹ La durée totale d'un bruit impulsif est celle allant de la première sous impulsion à la dernière.

exploités afin de construire, dans un premier temps un modèle mathématique des inter-arrivées entre bruits impulsifs, puis pour évaluer leurs effets en terme de secondes erronées.

Ensuite, sont analysés les pouvoirs correcteurs de l'INP (Impulse Noise Protection) et du FEC (Forward Error Correction). Il a été démontré, en effet, que l'apport de l'INP=4 est assez significatif par rapport à INP=2. Quant au correcteur FEC, il a été performant pour 3 sites parmi 4.

De nouvelles techniques d'annulation des effets du bruit impulsif dans le DSL sont en train de naître, en l'occurrence les techniques de retransmission dont le potentiel est cours d'essai.

REFERENCES

- [1] F. Moulin, "Etude de l'impact des bruits impulsifs sur la qualité de transmission d'une liaison ADSL", Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Rennes, Janvier 2001.
- [2] Cory S. Modlin, "Optimizing for impulse noise protection in a DSL system", United States Patent 20060215742, Mars 2006.
- [3] ITU-T, "Draft new recommendation G.992.21: Asymmetrical Digital Subscriber Line (ADSL) Transceivers", Mars 1999.
- [4] ITU-T, "Recommendation G.992.5: Asymmetrical Digital Subscriber Line (ADSL) Transceivers – Extended bandwidth ADSL2 (ADSL2plus)", Janvier 2005.
- [5] ITU-T, "Recommendation G.993.2: Very High Speed Digital Subscriber Line Transceivers 2 (VDSL2)", Février 2006.
- [6] Pro-MPEG, "Transmission of Professional MPEG-2 Transport streams over IP Networks", <http://62.73.167.57/publications/pdf/Vid-on-IP-Co P3-r2.pdf>.
- [7] Pro MPEG Forum, <http://www.pro-mpeg.org>.
- [8] J.M Cioffi, "Advanced digital communications", Stanford university, (<http://www.stanford.edu/class/ee379c>), Class reader, 2002.
- [9] Cioffi, J.M., "Lecture Notes for Advanced Digital Communications", Stanford University, fall 1997.