



HAL
open science

DÉTECTION ET SUPPRESSION DE BRUITS IMPULSIONNELS APPLIQUÉS À LA RESTAURATION D'ENREGISTREMENTS ANCIENS

S. Montresor, J. Valiere, M. Baudry

► **To cite this version:**

S. Montresor, J. Valiere, M. Baudry. DÉTECTION ET SUPPRESSION DE BRUITS IMPULSIONNELS APPLIQUÉS À LA RESTAURATION D'ENREGISTREMENTS ANCIENS. *Journal de Physique Colloques*, 1990, 51 (C2), pp.C2-757-C2-760. 10.1051/jphyscol:19902176 . jpa-00230480

HAL Id: jpa-00230480

<https://hal.science/jpa-00230480>

Submitted on 4 Feb 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

1er Congrès Français d'Acoustique 1990

DÉTECTION ET SUPPRESSION DE BRUITS IMPULSIONNELS APPLIQUÉS À LA RESTAURATION D'ENREGISTREMENTS ANCIENS

S. MONTRESOR, J.C. VALIERE et M. BAUDRY*

Université du Maine, Laboratoire d'Acoustique, Route de Laval, BP. 535, F-72017 Le Mans Cedex, France

**Université du Maine, Laboratoire d'Informatique, Route de Laval, BP. 535, F-72017 Le Mans Cedex, France*

Résumé - Une méthode automatique de détection et de suppression des bruits impulsionsnels dégradant les enregistrements phonographiques est présentée. L'utilisation d'un filtre dont la bande passante se situe en dehors de la bande utile du signal, constitue le principe essentiel de la détection. Différents filtres sont proposés du point de vue des performances de détection, y compris des ondelettes à support compact. On montre notamment l'influence du paramètre de régularité. Pour la reconstitution du signal, on compare deux techniques. L'une paramétrique utilise la prédiction linéaire, avant et arrière. La seconde utilise une décomposition sur une base d'ondelettes orthogonales, dans laquelle on effectue une interpolation des coefficients d'ondelettes.

Abstract - An automatic method for detecting and suppress impulsive noises which degrade gramophone records is described. The basic principle of the detection is a linear filtering which selects signals in a frequency range where the musical signal does not exist. Different kind of filters are composed according to the performances of the detection, including compactly supported Wavelets. The influence of the regularity parameter is shown. Two methods of reconstructing the signal are presented. The first one uses a parametric estimation, with backward-forward linear prediction. The second method uses an orthonormal Wavelet decomposition, in which a Wavelet coefficient interpolation is performed.

I - INTRODUCTION

On distingue généralement deux types de bruits parasites affectant la qualité des enregistrements phonographiques. L'un à caractère stationnaire, constitué par du bruit de fond, plus parfois le bruit du système d'entraînement. L'autre concerne les bruits impulsionsnels tels que les craquements. Une technique développée au laboratoire /1/ a pour objectif d'éliminer les bruits à caractères stationnaires. Elle requiert l'estimation du spectre à court terme du signal à l'aide de la transformée de Fourier à fenêtre glissante /2/. Cependant, la présence de bruits impulsionsnels biaise l'estimation de ce spectre et amoindrit les performances du système de réduction du bruit stationnaire. Un premier traitement s'impose afin d'éliminer les bruits impulsionsnels.

II - DETECTION DES BRUITS IMPULSIONNELS

II.1 - Caractérisation des phénomènes

Sans chercher à préciser la nature ni l'origine de ce que l'on appelle communément les craquements, nous appellerons dans la suite, bruit impulsionsnel, toute partie du signal répondant à la définition suivante : une suite de variations brusques du signal, espacées de quelques dixièmes de milliseconde, dont l'amplitude varie depuis le niveau du bruit de fond jusqu'au niveau crête du signal. La figure 1 illustre ces deux cas limites.

II.2 - Principe de la détection

S'inspirant de procédés analogiques utilisés antérieurement pour la détection et l'élimination des craquements /3,4/, le principe de notre détecteur repose sur l'utilisation d'un filtre passe-haut, dont la décroissance prend effet dans une région du spectre où le niveau moyen du signal utile est faible. Le signal est ensuite redressé et lissé sur une moyenne de 0,5 milliseconde. On obtient alors une estimation des variations d'amplitude du signal dans la bande haute de son spectre. La seconde partie du détecteur est constituée d'un indicateur de crête à seuil fixe et d'un détecteur d'enveloppe servant à comptabiliser les événements.

II.3 Evaluation des détecteurs

Nous avons cherché à optimiser les détecteurs de façon à ce qu'ils fournissent les résultats les plus proches de ceux obtenus par une détection manuelle.

Dans un premier temps, nous avons recensé manuellement les événements correspondant au critère défini au paragraphe 2, puis stocké leurs positions dans un fichier de référence. Les

évaluations sont effectuées en comparant le fichier de référence et celui produit par le détecteur. On définit ainsi deux grandeurs, respectivement le taux de fausses détections TF et le taux d'oubli TO (1) et (2) :

$$TF = 100 \times \left(\frac{NT-ND}{NT} \right) \quad (1) \quad TO = 100 \times \left(\frac{NR-ND}{NR} \right) \quad (2)$$

NR, ND et NT sont respectivement le nombre total d'événements de référence, le nombre d'événements de référence détectés et le nombre total d'événements détectés.

Pour chaque configuration, nous établissons les courbes de variation de TF et de TO en fonction du seuil de fonctionnement du détecteur (fig. 2). Le point de croisement des courbes définit le taux d'erreurs égales TEE du détecteur qui est l'ordonnée de ce point. Nous noterons de même STE son abscisse. Les performances du détecteur sont d'autant meilleures que son TEE est faible.

II.4 - Résultats

L'optimisation du détecteur a été réalisée en agissant sur l'étage de filtrage de celui-ci. Parmi les nombreux essais effectués, nous avons reporté en figure 2 les TEE des détecteurs les plus satisfaisants. Ils ont été obtenus en utilisant, un filtre passe-bande (ligne 1 du tableau), un filtre différentiateur (ligne 2), des ondelettes à support compact /5/ de régularité 2, 4, 6, 8 et 10 (respectivement lignes 3 à 7). Au vu de ces résultats, la régularité des ondelettes apparaît comme un paramètre pertinent pour la détection. On remarque, en particulier, que l'accroissement de la régularité s'accompagne d'une diminution du STE. En clair, le détecteur perçoit des événements d'amplitude de plus en plus faible. Un examen plus détaillé des événements détectés confirme cette tendance. On observe, en revanche, une diminution de la précision avec laquelle les événements sont localisés. Ceci s'interprète par le fait que la longueur relative des différentes ondelettes est proportionnelle à leur régularité. Le compromis ainsi posé est résolu en fonction du type de correction que l'on opère sur le signal et que nous explicitons dans les paragraphes suivants.

III - SUPPRESSION DES BRUITS IMPULSIONNELS

III.1 - Reconstitution du signal

Connaissant la position des événements à éliminer, le problème consiste à reconstruire un signal qui approche au mieux le signal musical d'origine. Les seules informations dont nous disposons sont les échantillons du signal situés avant et après le bruit impulsionnel à remplacer. Dans ce contexte, les techniques de corrélation semblent particulièrement adaptées à traiter ce problème. Nous les avons employées dans ce qui suit à travers deux méthodes : l'une utilise la prédiction linéaire avant et arrière, la seconde, requiert une décomposition en coefficients d'ondelettes orthogonales.

III.2 - Interpolation par prédiction linéaire

Le principe de cette technique repose sur une estimation des pôles avant et après l'événement à remplacer. Les coefficients A.R. sont calculés selon la méthode dite d'autocorrélation. On interpole les coefficients de la manière suivante : soient M et N le nombre de points pris après et avant l'événement et R la taille de cet événement, on peut écrire les relations (3) (4) et (5) :

$$\hat{x}^f(N+1) = \sum_{k=1}^p a_k^f x_{N+1-k} \quad (3)$$

$$\hat{x}^b(N+R-1) = -\sum_{k=1}^q a_k^b x_{N+R-1+k} \quad (4)$$

$$\hat{x}(N+1) = \alpha \hat{x}^f(N+1) + (\alpha-1) \hat{x}^b(N+1) \quad (5)$$

avec $1 \leq k \leq R$ et $0 \leq \alpha \leq 1$

p et q sont respectivement le nombre de pôles de prédiction avant et arrière. x est la somme pondérée des estimations avant et arrière du signal. Pour estimer au mieux la séquence à interpoler, on minimise l'erreur résiduelle de prédiction avant et arrière définie par (6) :

$$E(n) = x_n - \hat{x}_n \quad (6)$$

Le bruit de fond présent sur les enregistrements, qui rend difficile cette estimation, a conduit dans certains cas à une interpolation non satisfaisante. Une procédure de contrôle est alors nécessaire afin de changer les paramètres initiaux de l'estimation.

III.3 Décomposition en coefficients d'ondelettes

Le signal est décomposé en une somme de contributions élémentaires, ondelettes obtenues par translation et dilatation-compression en temps d'une fonction mère appelée ondelette analysante /5/. La transformation en ondelettes permet de décrire simultanément les variations rapides du signal, comme les bruits impulsionnels, tout en gardant des informations pertinentes sur ses composantes stationnaires. Des algorithmes rapides permettent une implémentation efficace de cette transformation /7/. Parmi ceux-ci, l'algorithme de décomposition en coefficients d'ondelettes orthogonales à support compact permet également un paramétrage aisé de la régularité des ondelettes utilisées.

III.4 Interpolation des coefficients d'ondelettes

On remplace les coefficients des ondelettes dont le support recouvre le bruit impulsionnel à éliminer. Les nouveaux coefficients sont estimés à partir de ceux décrivant le signal de part et d'autre de ce bruit.

Soit $s(n)$ la séquence d'échantillons du signal, on écrit (7) :

$$s(n) = \sum_j \sum_k c_{j,k} U_{j,k}(n) + \sum_k d_{j,k} \Phi_{j,k}(n) \quad (7)$$

Les $c_{j,k}$ sont les coefficients des ondelettes $U_{j,k}$.

L'indice j représente les différentes voies de la décomposition. Le terme de droite représente, l'approximation du signal à la résolution J /5/. On estime maintenant la fonction d'autocorrélation normalisée des $c_{j,k}$ à j fixé (8) :

$$r_{c_j}(k_0) = \frac{\sum_{k=k_0+1}^N c_{j,k} c_{j,k-k_0}}{\sqrt{(\sum_{k=k_0+1}^N c_{j,k}^2) (\sum_{k=k_0+1}^N c_{j,k-k_0}^2)}} \quad (8)$$

avec $N = k_0 + L$, L est la longueur sur laquelle on estime la fonction d'autocorrélation. L'indice $k_0 = L$ correspond au premier coefficient à remplacer. Les $c_{j,k}$ à remplacer ont été auparavant annulés. On cherche la valeur de k_0 qui correspond au maximum de $|r_{c_j}(k_0)|$ (c.à.d. à un maximum de corrélation ou d'anticorrélation). Il reste alors à remplacer les $c_{j,k}$ par les $c_{j,k-k_0}$ où les $-c_{j,k-k_0}$ suivant le signe de $r_{c_j}(k_0)$. On revient au domaine du signal initial par une transformée en ondelettes inverse (7). La modification apportée sur le signal s'étend a priori au-delà de la forme à modifier, un fenêtrage approprié permet d'en limiter les effets.

III.5 Résultats

Des exemples de reconstitution du signal sont montrés en figure 4. La prédiction linéaire permet généralement une bonne interpolation du signal quand celui-ci est localement stationnaire, comme dans les tenues de notes. Le caractère multiéchelle de la transformation en ondelettes /7/ permet de s'affranchir davantage des stationnarités du signal. Le choix de la régularité demeure cependant déterminant. Une régularité trop faible conduit à générer des nouvelles discontinuités sur le signal lorsque l'on modifie les coefficients de la décomposition, compte tenu de l'allure des ondelettes utilisées. En revanche, une régularité trop élevée nécessite, dans le calcul des fonctions de corrélation, une estimation sur une durée trop importante du signal ; on retrouve alors les mêmes contraintes qu'avec la prédiction linéaire.

IV - CONCLUSION

Les ondelettes à support compact d'I. Daubechies ont été utilisées afin d'optimiser un détecteur de bruits impulsionnels. L'accroissement de la régularité des ondelettes utilisées, permet une détection d'événements plus efficace, avec cependant, une restriction sur la précision de la localisation de ceux-ci. Pour reconstituer le signal le recours à une décomposition en coefficients d'ondelettes orthogonales à support compact fait apparaître des résultats prometteurs quant à la validité de cette méthode. On a montré qu'elle permettait, en particulier, de s'adapter à des évolutions rapides du signal.

REFERENCES

- /1/ J.C. VALIERE, S. MONTRESOR, J.F. ALLARD "Présentation d'une méthode de suppression des bruits de surface sur les anciens enregistrements de musique" - 1er congrès de la S.F.A. Avril 1990.
- /2/ R.E. CROCHIERE, L.R. RABINER, "Multirate Digital Signal Processing", Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J. 1983.
- /3/ M.J. CARREY, I. BUCKNER, "A system for reducing impulsive noise on gramophone reproduction equipment". The Radio electronic Engineer. Vol. 50- n° 7 . pp 331-336. Juillet 1976.
- /4/ G.R. KINZIE, JR. et DW. GRAVEREAUX "Automatic detection of impulse noise". Journal of the A.E.S., Volume 21, n° 3. Avril 1973.
- /5/ I. DAUBECHIES "Orthonormal bases of compactly supported wavelets". AT&T. Bell Labs, Murray Hill, USA.
- /6/ P. GOUPILLAUD, A. GROSSMAN and J. MORLET "Cycle-octave and related transforms in seismic signal analysis". Geoeexploration n° 23, pp. 85-102. 1984/1985.
- /7/ S. MALLAT "A theory for multiresolution signal decomposition". Dept of Computer Science. University of Pennsylvania. USA, preprint GRASP lab. 1987.

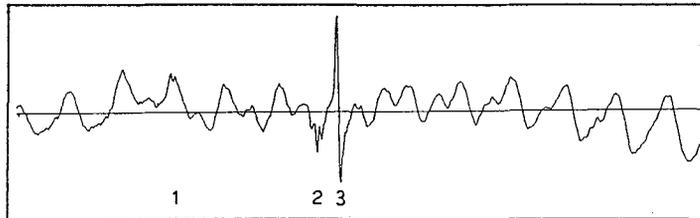


Fig. 1 - Exemples de bruits impulsionnels.

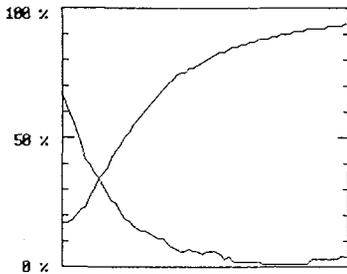


Fig. 2 - Courbes de variation de TF et TO en fonction du seuil, pour l'ondelette de régularité 10.

n°	TEE %	STE dB
1	37	32.2
2	39	36.7
3	33	33.5
4	40	33.5
5	44	33.8
6	37	34.5
7	36	34.8

Fig. 3 - Résultats de la détection pour différents types de filtrage.

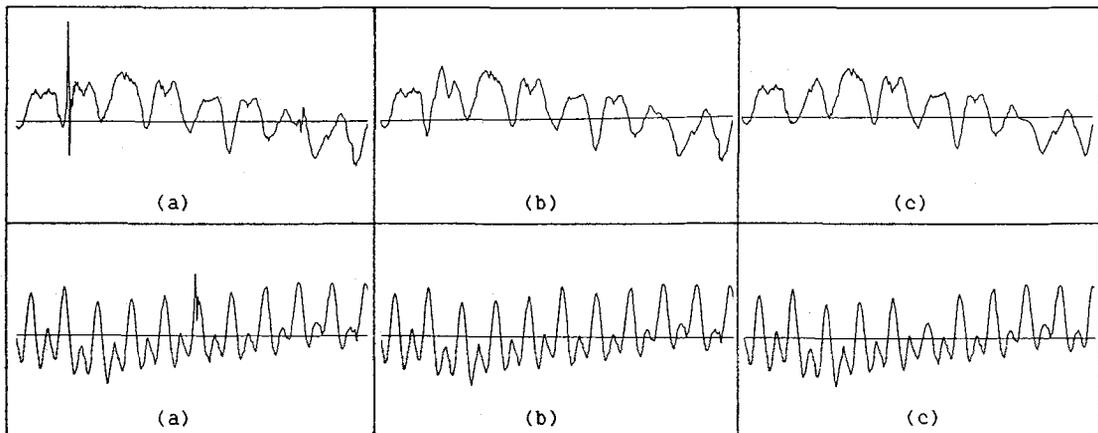


Fig. 4 - Deux exemples de reconstitution du signal :
 (a) signal original - (b) interpolation des coefficients d'ondelettes
 (c) prédiction linéaire avant et arrière.