

# DÉBRUITAGE PAR ONDELETTES DE LA PAROLE EN MILIEU INDUSTRIEL

Cécile Le Cocq<sup>1</sup>, Frédéric Laville<sup>1</sup> et Christian Gargour<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Département de génie mécanique, <sup>2</sup>Département de génie électrique,  
École de Technologie Supérieure, 1100 rue Notre-Dame Ouest, Montréal (Qc) H3C1K3  
cecile.lecocq@etsmtl.ca

## 1. INTRODUCTION

Dans l'industrie, bon nombre de travailleurs sont exposés à des niveaux sonores élevés qui peuvent causer des pertes auditives. Afin de préserver l'audition des travailleurs, le port de protecteur auditifs est une solution efficace et peu coûteuse mais qui entraîne une diminution des capacités à percevoir les signaux d'alarme et à comprendre la parole. De nombreuses techniques de débruitage de la parole existent ; elles sont couramment utilisées dans le domaine de la téléphonie. Ces méthodes peuvent-elles pour autant être appliquées dans un milieu industriel où les bruits sont différents et surtout où leur niveau sonore est beaucoup plus élevé ?

L'étude réalisée ici porte sur le débruitage par ondelettes de la parole en milieu industriel. Le but de cette étude est de poser les premières bases d'une recherche portant sur l'amélioration de la compréhension de la parole par les travailleurs du milieu industriel qui portent des protecteurs auditifs. Avant de présenter les méthodes considérées ainsi que les résultats obtenus, une brève mise en contexte est réalisée afin de présenter le milieu sonore dans lequel oeuvrent les travailleurs de l'industrie.

## 2. LE CONTEXTE SONORE EN MILIEU INDUSTRIEL

Trois types de signaux sonores sont présents en milieu industriel : le bruit des machines, que nous qualifierons «industriels», les signaux d'alarme et la parole.

- Les bruits industriels peuvent être classés en deux catégories : les bruits non-stationnaires et les bruits stationnaires. Les bruits non-stationnaires sont par exemple des coups de marteaux donnés sur des plaques de métal. Les bruits stationnaires sont par exemples générés par les transformateurs électriques. Le niveau sonore dans les entreprises est la plupart du temps compris entre 70 et 110 dBA. À faible niveau les bruits industriels vont causer une gêne, à fort niveau ils vont entraîner des pertes auditives en l'absence de protecteurs.
- Les signaux d'alarme transmettent des informations importantes aux travailleurs. Il peut s'agir par exemple de l'alarme incendie, de l'avertisseur de recul de véhicule ou d'un signal sonore délivré par une machine pour indiquer un mauvais fonctionnement de celle-ci. Il est donc primordial que les travailleurs puissent entendre, distinguer et comprendre la signification de ces signaux.
- Le niveau normal de la parole est d'environ 60 dBA. Les travailleurs de l'industrie qui oeuvrent en milieu bruyant auront tendance à crier pour se faire comprendre.

## 3. MÉTHODES

De nombreuses variantes de la technique du débruitage par ondelettes de la parole existent. Ne sont présentées ici que les méthodes testées. Le débruitage de la parole par ondelettes consiste à appliquer un algorithme de seuillage THR sur les coefficients de la transformée en ondelettes du signal bruité, en fonction d'un seuil  $T$ . Soient  $s$  un signal de parole «propre» et  $w$  un bruit industriel. Le signal bruité  $x$  est défini par  $x = s + w$ . Dans le domaine de la transformée en ondelettes, cette expression devient :  $X = S + W$ . Le signal débruité  $\tilde{S}$  s'obtient alors par :  $\tilde{S} = \text{THR}(X, T)$ . L'algorithme de seuillage THR dépend de trois paramètres que sont la règle de seuillage, l'estimation de l'écart type du bruit  $\tilde{\sigma}$  et le calcul du seuil  $T$ .

- Les premières règles de seuillage ont été définies par Donoho et Johnstone [1]. Il s'agit des seuillages mou  $\text{THR}_m$  et dur  $\text{THR}_d$  qui sont définis de la manière suivante :

$$\text{THR}_m(X, T) = \begin{cases} \text{sgn}(X)(|X| - T) & |X| \geq T \\ 0 & |X| < T \end{cases} \quad (1)$$

$$\text{THR}_d(X, T) = \begin{cases} X & |X| \geq T \\ 0 & |X| < T \end{cases} \quad (2)$$

Ces deux règles de seuillages ont l'inconvénient d'altérer le signal de parole, en raison des coefficients qu'elles forcent à zéro. Dans le but d'éviter ce problème, d'autres règles de seuillage ont été proposées. Nous considérerons ici deux règles «hybrides» des seuillages mou et dur qui ont été proposées par Nordström et all. [2] ; il s'agit des seuillages super mou  $\text{THR}_{sm}$  et dur mou  $\text{THR}_{dm}$  qui dépendent du paramètre  $\alpha \in [0, 1]$  qui correspond au gain appliqué au signal bruité quand l'amplitude du dit signal est inférieure au seuil  $T$  :

$$\text{THR}_{sm}(X, T) = \begin{cases} \text{sgn}(X)(|X| - (1 - \alpha) T) & |X| \geq T \\ \alpha X & |X| < T \end{cases} \quad (3)$$

$$\text{THR}_{dm}(X, T) = \begin{cases} X & |X| \geq T \\ \alpha X & |X| < T \end{cases} \quad (4)$$

- L'estimation de l'écart type du bruit sera calculé pour chaque niveau d'analyse selon la formule  $\tilde{\sigma}_j = \text{MAD}(X_j)/0.6745$  proposée par Johnstone et Silverman [3] où  $\text{MAD}(X_j)$  représente l'écart absolu médian au niveau  $j$  d'analyse.
- Le seuil universel, qui a été introduit au départ par Donoho et Johnstone [1], sera utilisé avec la formulation pro-

posée par Johnstone et Silverman [3] pour les bruits colorés :  $T_u(j) = \tilde{\sigma}_j \sqrt{2 \log N}$ .

#### 4. ÉVALUATION DES PERFORMANCES

Afin d'évaluer les performances des différentes méthodes présentées dans un milieu industriel, les algorithmes ont été testés sur dix phrases, prononcées par un homme, extraites de la base de données TIMIT. Ces signaux de parole ont été altérés par deux bruits industriels stationnaires issus de la base de données NOISEX selon les rapports signal à bruit (SNR) de -10 dB, -5 dB, 0 dB et 5 dB. La transformée en ondelette discrète avec l'ondelette Daubechies d'ordre 4 sur 10 niveaux d'analyse a été appliquée aux signaux débruités. Le paramètre  $\alpha$  des règles hybrides de seuillage a été choisi égal à 0.1. Pour quantifier les performances du débruitage, deux critères quantitatifs ont été utilisés : le gain en terme de SNR et la mesure de distorsion d'Itakura-Saito (IS) [4]. Les tableaux 1 et 2 présentent les performances obtenues en terme de gain du SNR et de la mesure IS pour les quatre règles de seuillage considérées et pour les différents SNR du signal bruité.

Tableau 1. Performances moyennes obtenues en terme de gain du rapport signal à bruit

SNR	dur	mou	super mou	dur mou
-10	9.7	9.8	10.1	10.0
-5	6.3	5.7	6.3	6.9
0	3.1	1.7	2.5	3.9
5	0.3	-1.9	-1.1	1.1

Tableau 2. Performances moyennes obtenues en terme de mesure de distorsion d'Itakura-Saito

SNR	dur	mou	super mou	dur mou
-10	2400	2500	7.7	6.1
-5	2300	2400	9.4	7.0
0	4000	4200	10.6	7.3
5	5900	6200	11.0	7.1

Il est à remarquer sur le tableau 2 que les performances moyennes obtenues en terme de mesure IS pour les règles de seuillages dur et mou sont très élevées, beaucoup plus élevées que celles couramment rencontrées dans la littérature. L'écoute des signaux correspondant a permis de confirmer qu'ils étaient inintelligibles. La mesure IS (voir tableau 2) permet de vérifier que les règles de seuillages dur et mou, qui forcent des coefficients à zéro, dégradent beaucoup l'intelligibilité de la parole. Les règles de seuillages hybrides, qui ont été définis afin de résoudre ce problème, n'altèrent que très légèrement l'intelligibilité de la parole. Il est également à remarquer que la règle de seuillage dur mou donne une plus faible distorsion de la parole que la règle de seuillage super mou. En effet le seuillage dur mou ne modifie pas les coefficients d'ondelette significatifs, alors que le seuillage super mou les diminue. Les performances en terme de gains du SNR (voir tableau 1) sont légèrement supérieures pour les règles de seuillages hybrides que pour les règles de seuillages dur et mou. De plus, pour les SNR élevés, la règle de seuillage dur mou donne un gain en terme de SNR plus important

que la règle de seuillage super mou. Selon les deux critères considérés, la règle de seuillage dur mou permet donc d'obtenir les meilleures performances.

#### 5. CONCLUSION

La présentation du contexte sonore en milieu industriel a permis d'explicitier les différentes problématiques en terme de santé et sécurité des travailleurs. Parmi les méthodes considérées et dans les conditions testées, la règle de seuillage dur mou permet d'obtenir les meilleurs performances en terme de gain du SNR et de mesure IS pour le débruitage de la parole en milieu industriel. Cette première étude réalisée sur le débruitage par ondelettes en milieu industriel a permis de mettre en évidence l'importance du choix de la méthode de débruitage afin de conserver l'intelligibilité de la parole : la règle de seuillage choisie ne doit forcer aucun coefficients à zéro et doit éviter de diminuer les coefficients d'ondelette significatifs. L'algorithme de débruitage utilisant la règle de seuillage dur mou n'est pas pour autant le choix «optimal». En effet cette règle de seuillage est discontinue et doit donc diminuer l'intelligibilité du signal de parole. Par ailleurs nous n'avons testé que le seuil universel pour lequel il a été montré que dans certaines conditions expérimentales il n'est pas le plus approprié [5]. En résumé, les performances du débruitage de la parole en milieu industriel devraient pouvoir être améliorées en utilisant une règle de seuillage continue, qui ne force aucun coefficient à zéro et qui n'atténue pas les coefficients d'ondelettes significatifs, avec un seuil approprié.

#### REMERCIEMENTS

Les auteurs expriment leur reconnaissance à la compagnie SONOMAX HEARING HEALTHCARE INC. et au CRSNG (Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada) pour leur soutien à ce projet.

#### BIBLIOGRAPHIE

- [1] David L. Donoho and Iain M. Johnstone. Ideal spatial adaptation by wavelet shrinkage. *Biometrika*, 81(3):425–455, 1994.
- [2] F. Nordström, B. Holst, and B. Lindoff. Time and frequency dependent noise reduction in speech signals. In *The International Conference on Signal Processing Applications and Technology*, Orlando, Florida, USA, 1999.
- [3] I. M. Johnstone and B. W. Silverman. Wavelet threshold estimators for data with correlated noise. *Journal of the Royal Statistical Society Series B-Methodological*, 59(2):319–351, 1997.
- [4] John H.L. Hansen and Bryan Pellom. An effective quality evaluation protocol for speech enhancement algorithms. In *ICSLP-98: Inter. Conf on Spoken Language Processing*, volume 7, pages 2819–2822, Sydney, Australia, 1998.
- [5] David L. Donoho and Iain M. Johnstone. Adapting to unknown smoothness via wavelet shrinkage. *Journal of the American Statistical Association*, 90(432):1200–1225, 1995.