

## EXTRACTION DE PARAMETRES DANS LES PLANS DE TYPE TEMPS-FREQUENCE

B. BALIGAND - J. LARCHER - J. MILLET

METRAVIB RDS 64, chemin des Mouilles  
B.P 182 - 69132 ECULLY Cédex

### RÉSUMÉ

Cette contribution s'inscrit dans le cadre de l'interprétation automatique d'une description type temps-fréquence. L'article présente deux méthodes opérationnelles destinées à extraire des paramètres ou des formes dans un plan temps-fréquence ou temps-échelle. Ces méthodes reposent sur une approche morphologique. Il s'agit d'une opération de squelettisation réalisée sur des images temps-fréquence issue d'une distribution Pseudo-Wigner Ville lissée et d'une opération d'extraction de tache et de contour sur une image temps-échelle obtenue après une Transformée en Ondelettes. On présente une application de ces deux algorithmes sur des signaux acoustiques.

### I. INTRODUCTION

Dans le domaine de la vibro-acoustique, l'analyse des **bruits non stationnaires** (contenant des impulsions ou des raies harmoniques lentement variables en temps) par une description temporelle ou fréquentielle classique ne rend pas compte de la véritable structure des signaux. Pour répondre à ce type de besoin, on a recours à une analyse spectrale évolutive qui distribue l'énergie du signal dans un plan type temps-fréquence. Cependant, l'interprétation automatique des images ainsi obtenues reste un problème capital.

La contribution de cet article s'inscrit dans ce cadre d'action en introduisant des outils opérationnels destinés à extraire des paramètres ou des formes provenant d'une analyse temps-fréquence ou temps-échelle. Il s'agit de méthodes de traitement d'image basées sur des concepts de **morphologie mathématique**. Deux algorithmes complémentaires sont proposés :

- Une opération de **squelettisation** est réalisée sur les images temps-fréquence issues d'une Distribution Pseudo-Wigner Ville Lissée (D.P.W.V.L.).
- Une opération d'**extraction de tache ou de contour** est réalisée sur les images temps-échelle obtenues à partir d'une Transformée en Ondelettes (T.O.).

### ABSTRACT

This study is a contribution to an automatic interpretation of a time frequency representation. This article shows two operational methods dedicated to the feature extraction in a time-frequency or a time-scale plan. These methods are based on morphological concepts. This is a skeleton extraction on a time-frequency image coming from a smoothed Pseudo-Wigner Ville distribution and an edge detection on a time-scale image coming from a wavelet transform.

At last, we present an application of these two algorithms on acoustical signals.

### II. ANALYSE TEMPS-FRÉQUENCE EN VIBRO-ACOUSTIQUE

Les représentations type temps/fréquence sont de plus en plus utilisées pour l'analyse des chocs ou le suivi de raie lentement variable en temps.

Parmi ces diverses classes de représentations, nous utilisons deux méthodes complémentaires :

1. La Distribution Pseudo-Wigner Ville Lissée bien adaptée au suivi de raies.
2. La Transformée en Ondelettes (MORLET) bien adaptée aux signaux brefs de type choc (possédant le même type de noyau reproduisant).

#### II.1. Rappels sur les caractéristiques de la D.P.W.V.L. et de la T.O. [1]

- La D.P.W.V.L., tout en conservant les avantages de celle de Wigner Ville (haute résolution conjointe temps-fréquence), en minimise les inconvénients (termes interférentiels dus à la bilinéarité de la transformation).

La représentation temps/fréquence d'un signal réel, calculée par D.P.W.V.L. s'écrit :

(2-1)

$$D.P.W.V.L. (t,v,F) = \int_{\mathbb{R}^2} WV (t',v') \cdot F (t-t', v-v') \cdot dt' \cdot dv'$$



où : - F est une fonction de lissage normalisée à deux degrés de liberté :  $F(t,v) = g(t) \cdot q(v)$ . La fonction  $g(t)$  introduit un lissage suivant l'axe des temps. son rôle est de réduire l'influence des termes d'interaction entre composantes fréquentielles distinctes. La fonction  $q(v)$  réalise un lissage sur l'axe des fréquences.

-  $WV(t',v')$  est la distribution de Wigner Ville du signal.

- Le T.O., à support compact (MORLET), permet de différencier et d'analyser efficacement les signaux où se combinent des phénomènes à des échelles fréquentielles différentes.

La T.O. consiste à décomposer un signal sur une base de fonctions élémentaires  $\psi_{a,b}$  dites ondelettes, fonction du temps  $b$  et de la fréquence  $1/a$ . Les coefficients  $C(a,b)$ , obtenus dans la décomposition du signal  $x(t)$  par  $\psi_{a,b}$ , s'écrit :

$$(2-2) \quad C(a,b) = \int_{\mathbb{R}} x(t) \cdot \Psi_{a,b}(t) \cdot dt$$

Chaque ondelette  $\psi_{a,b}(t)$  est déduite d'une fonction mère  $\psi(t)$  (à moyenne nulle) par translation en temps et contraction/dilatation en fréquence. Nous utilisons l'ondelette de MORLET définie par :

$$(2-3) \quad \psi(t) = \exp(-t^2 \cdot \log 2) \cdot \exp(-2i \pi \cdot t) \quad i = \sqrt{-1}$$

#### Remarques :

- La T.O. est linéaire et inversible, équivalente à l'analyse par bancs de filtres à  $\Delta v/v = \text{constante}$ .
- La représentation de la T.O. utilisée est de type cycle/octave (voir figure 3) avec la discrétisation suivante:

axe des fréquences (voies  $j$ ) :  $v_j = 1/T_j = (1/T_0) 2^{(j/k)}$   
( $T_0$  durée du signal)

axe des temps :  $t_i = i \cdot T_j/l$

Cette discrétisation revient à prendre  $l$  points par cycle et  $k$  points par octave.

## II.2. Problèmes liés aux deux représentations

- Le premier sujet traité concerne l'analyse de la signature acoustique d'un signal ayant subi un décalage doppler, caractérisée par une composante fréquentielle modulée en fréquence. Il s'agit de déterminer les paramètres décrivant la courbe représentative de cette loi de modulation dans le plan temps-fréquence obtenu par D.P.W.V.L. (voir figure 1). Cette image fait apparaître deux types de problèmes :

- un des problèmes majeurs posé par la D.P.W.V.L. est la présence d'interférences sur l'image,
- le second problème est celui dû au bruit dans le signal.

L'algorithme de squelettisation, spécifiquement développé pour l'extraction de modulation dans le plan temps-fréquence, répond à ces deux contraintes. Une normalisation préalable de l'image permet de s'affranchir des effets du bruit, de même les interférences sont supprimées sur l'image squelettisée par élimination des petits squelettes.

- Le second sujet traité concerne l'analyse de la signature acoustique d'une machine tournante. Le signal, de nature cyclostationnaire, fait apparaître des chocs répétitifs. Il s'agit de déterminer le pas et la description énergétique de chaque cycle à partir de la représentation temps/échelle obtenue par T.O. (voir figure 3). L'algorithme d'extraction de tache et de contour, développé à cet effet, permet d'isoler, dans le plan temps-échelle, les zones où l'énergie du signal est significative. Le principal problème rencontré avec la T.O. est celui dû au bruit dans le signal. On propose d'y remédier en normalisant l'image.

## III. SQUELETTISATION ET DÉTECTION DE CONTOUR

### III.1. Approche morphologique [4]

La squelettisation, la détection de tache et de contour sont fondés sur des concepts morphologiques que nous rappelons en bref.

Etant donné le domaine compact  $X$  du plan (image) et un élément structurant  $A$ , on lui associe son **érosion** par  $A$  à l'ordre 1 :

$$(3-1) \quad E(X,A,1) = \{a \in \mathbb{R}^2, A(a) \subset X\}$$

et son **dilaté** par  $A$  à l'ordre 1 :

$$(3-2) \quad D(X,A,1) = \{a \in \mathbb{R}^2, A(a) \cap X \neq \emptyset\}$$

où  $A(a)$  désigne l'élément structurant centré en  $a$ .

L'érosion de  $X$  correspond à l'ensemble des centres  $a$  des éléments  $A$  inscrits dans  $X$ . Le dilaté de  $X$  correspond à l'ensemble des centres  $a$  des éléments  $A$  qui coupent  $X$ .

L'**ouverture** de  $X$  par  $A$  à l'ordre 1 est l'enchaînement d'une érosion et d'une dilatation

$$(3-3) \quad O(X,A,1) = D(E(X,A,1),A,1)$$

La **fermeture** de  $X$  par  $A$  à l'ordre 1 est l'enchaînement d'une dilatation et d'une érosion

$$(3-4) \quad F(X,A,1) = E(D(X,A,1),A,1)$$

L'ouverture élimine "les parties sortantes" d'une image alors que la fermeture permet de fermer "les parties rentrantes" de l'image.

### III.2. Normalisation des images [5]

L'application de l'approche morphologique dans  $\mathbb{R}^2$  conduit à binariser les images par seuillage. On propose ici un prétraitement de **normalisation des images**. Cette opération vise à éliminer le bruit sans toucher au signal et donc à régulariser la probabilité de fausse alarme par seuillage.

On peut débruiter l'image selon deux méthodes optionnelles :

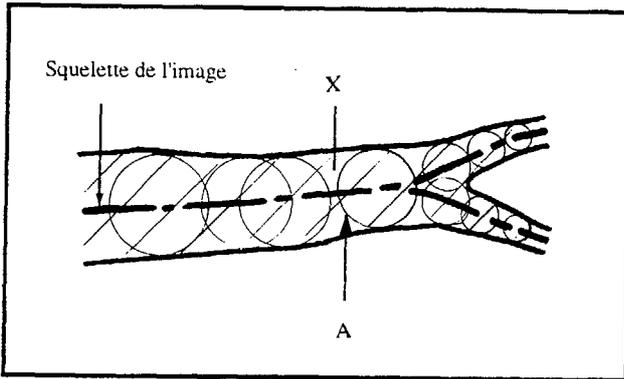
- par filtrage passe-bas
- par une ouverture 3D qui permet d'augmenter le contraste.

Le seuillage (binarisation de l'image) est ensuite réalisé de manière locale avec :

- choix d'un seuil minimum en dessous duquel tout sera mis à zéro
- binarisation par "pavés" (exemple 5 x 5 pixels) à x % du maximum du pavé.

### III.3. Squelettisation

Le squelette d'une image binarisée X est le lieu des centres a des plus grands éléments structurants A inclus dans X.

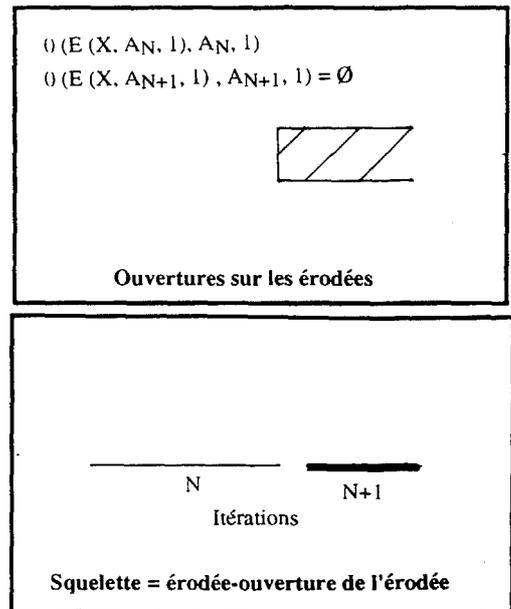
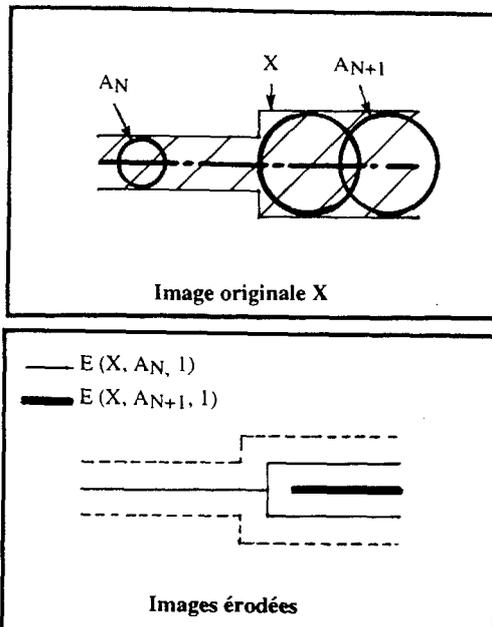


L'algorithme de squelettisation doit dans la mesure du possible :

- réduire à 1 "la largeur" du squelette
- conserver la topologie de l'image originale (préservation de la connexité).

#### Principe de la squelettisation

La méthode adoptée consiste à reconstituer tous les pixels du squelette à partir d'une série d'érosions et d'ouvertures avec des éléments structurants de taille variable. En érodant (à l'ordre 1) l'image X par un élément structurant  $A_N$  de taille N, on peut obtenir une partie des pixels du squelette. Cette partie, qui disparaît à l'ouverture suivante, est récupérée par différence entre l'image érodée et son ouverture.



### III.4. Extraction de tache et de contour

On cherche à isoler, du plan temps-échelle, des régions à forte concentration énergétique. Ces régions, définissant les taches et leur frontière, sont les contours. L'algorithme approprié doit, comme pour la squelettisation, conserver la topologie de l'image originale et réduire à 1 "la largeur" des contours.

#### Principe de l'extraction de tache

A partir de l'image normalisée, puis binarisée, on réalise une ouverture d'ordre n (n érosions suivi de n dilatations). Ceci permet de séparer les taches. Le choix de l'ordre n est un compromis entre une "bonne" séparation des taches et la conservation des taches "plus petites".

#### Principe de l'extraction de contours

La méthode est identique à la précédente. On rajoute simplement une étape d'érosion sur l'image ouverte. Les contours sont alors obtenus par différence entre l'image ouverte et l'érodée de l'ouverture.

## IV. RÉSULTATS ET CONCLUSION

⇒ Squelettisation de la D.P.W.V.L. (figure 2)

L'image originale (figure 1) se présente sous forme de (256 x 256) pixels codés sur 64 niveaux de couleur.

Les meilleurs résultats sont obtenus dans les conditions suivantes :

- normalisation de l'image par un filtre passe-bas 3 x 3,
  - binarisation par seuillage local (pavés de 5 x 5 pixels) à 90 % du maximum,
  - l'élément structurant dans l'ouverture est une croix  $\begin{matrix} 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 \end{matrix}$
  - un postraitement permet d'éliminer les "petits" squelettes inclus dans un pavé et de raccorder les "grands" squelettes discontinus.
- La recherche des paramètres associés à la loi de modulation de fréquence de la figure 2 peut désormais être achevée par une approche moindres carrés.



⇒ **Extraction de taches et de contours sur la T.O. (figure 4)**

L'image originale (figure 3) se présente sous forme de (800 x 111) pixels codés sur 64 niveaux de couleur.

Les meilleurs résultats sont obtenus dans les conditions suivantes :

- binarisation par seuillage local (pavés de 5 x 5 pixels) à 70 % du maximum,

1

- ouverture binaire d'ordre 4 à l'aide d'une croix 1 1 1

1

On constate une bonne séparation des contours basses fréquences ainsi qu'une bonne conservation des contours plus hauts en fréquences.

Nous disposons désormais de deux algorithmes opérationnels. Le premier fournit par squelettisation (d'une D.P.W.V.L.) une courbe de la loi de modulation fréquentielle directement exploitable. Le second, par extraction de taches/contours sur des images types ondelettes (T.O.) permet d'isoler les régions qui caractérisent la distribution de l'énergie du signal.

RÉFÉRENCES

- [1] P.FLANDRIN, "Représentation temps-fréquence des signaux non stationnaires", Revue TS - Vol 2 - 1989
- [2] N.MARTIN, J.MARS, J.C. PIERRON, J.MARTIN, "Représentation temps-fréquence et acoustique des salles", 13<sup>ième</sup> colloque GRETSI - pp 81-84 - JUAN-LES-PINS - 1991
- [3] A.GROSSMAN, "Wavelet transforms and Edge Detection" in Stochastic Processes in Physics and Engineering, (P.BLANCHARD,eds) - pp 149-157 - D.REIDEL Publ.co - 1987
- [4] J.SERRA, "Mathematical morphology and image analysis" Academic Press - LONDRES - 1982
- [5] M.BOUVET, B.PICINBONO, "Adaptive normalization and detection", IEEE Inter.Conf.on Communication - CHICAGO - pp 478-783 - June 1985

fréquence v

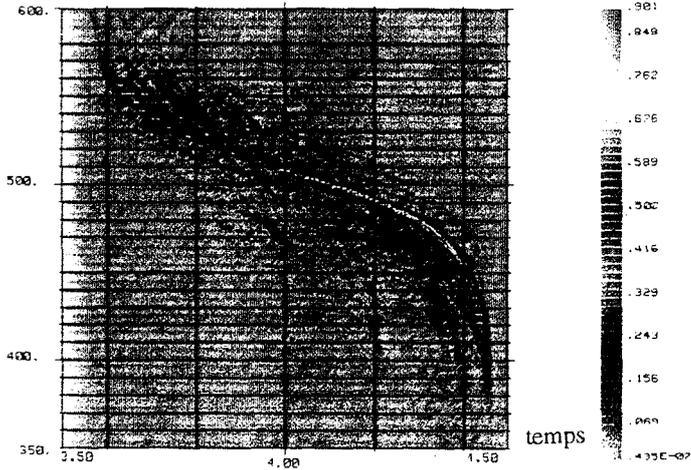


Figure 1 : Représentation temps-fréquence d'une D.P.W.V.L. d'un signal acoustique modulé en fréquence par effet doppler.

échelle

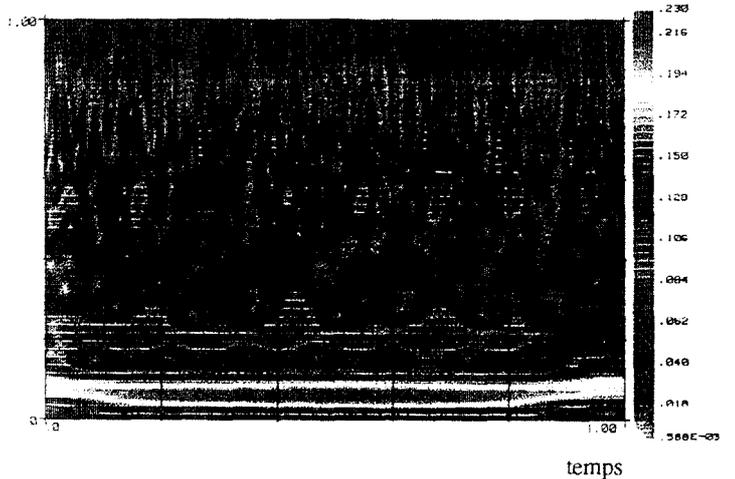


Figure 3 : Représentation temps-échelle d'une T.O. (MORLET) d'une signature acoustique de machine tournante. 12 voies par octave

fréquence v

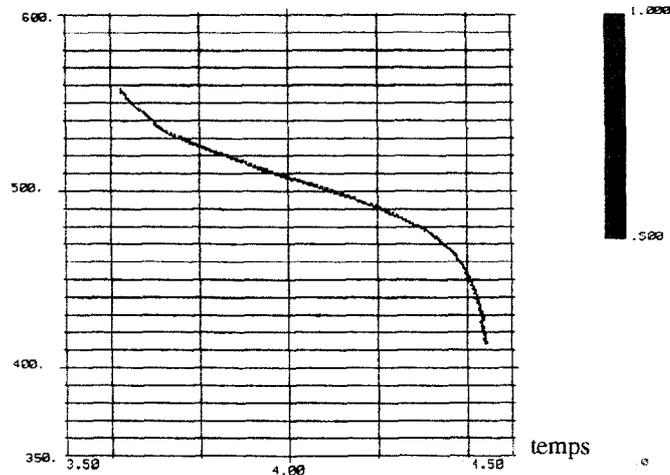


Figure 2 : Squelettisation de l'image temps-fréquence (figure 1)

échelle

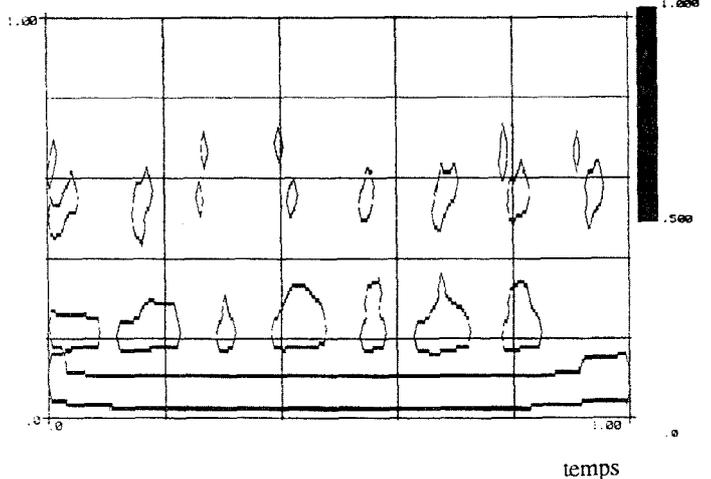


Figure 4 : Détection de contour à partir de l'image temps-échelle (figure 3)