

# **Dossier de demande de Bourse Région PACA**

## **ANNEXE 1**

Présentation détaillée du sujet de thèse :

Multiplicateurs temps-fréquence; application aux transformations de sons

## **Multiplicateurs temps-fréquence; application aux transformations de sons**

Le domaine conjoint temps-fréquence (ou temps-échelle) est souvent bien adapté à la représentation des signaux (signaux audio, images,... voir [1]). Ces derniers y sont représentés de façon « parcimonieuse », c'est à dire qu'on peut les caractériser par un petit nombre de coefficients. Partant de cette remarque, de multiples applications ont été développées, allant de l'analyse des signaux à des tâches plus complexes comme la compression, le dé-bruitage ou la séparation de sources.

Au delà de l'analyse des signaux, le cadre de la thèse est l'étude de la représentation des systèmes, ou opérateurs linéaires, par multiplicateurs temps-fréquence [2]: le signal est tout d'abord décomposé sur une famille (redondante) d'atomes temps-fréquence, produisant la transformée temps-fréquence (c'est la phase d'analyse). Celle-ci est alors multiplié point par point par un « masque » (phase de transformation dans le plan temps-fréquence); finalement, le signal dit transformé est synthétisé à partir de ces nouveaux coefficients (phase de synthèse).

Du point de vue mathématique, il est possible de montrer que certaines classes de systèmes linéaires peuvent être bien approximées par de tels multiplicateurs temps-fréquence. Dans le domaine des sons, ce sera notamment le cas de toutes les transformations qui ne font pas intervenir de décalage temporel ou fréquentiel trop important. Il est également possible de généraliser cette construction pour approximer des classes plus larges de systèmes linéaires, en conjuguant ces techniques avec d'autres transformations, comme des décalages temporels et fréquentsiels [3].

Ces techniques, souvent utilisées plus ou moins empiriquement pour le dé-bruitage de signaux, ont aussi été appliquées récemment dans le domaine de la transformation des signaux sonores, utilisant des repères de Gabor [1] comme représentations temps-fréquence. C'est dans ce contexte que se place le présent sujet de recherches, qui se focalisera sur la transformation des signaux sonores.

On envisagera deux cas de figure. D'une part, la mise en oeuvre dans le domaine temps-fréquence de transformations données et connues (« pitch shifting », accélération,...); le problème sera alors un problème d'approximation de ces transformations, qui fera appel à des techniques d'analyse mathématique. D'autre part, le problème d'identification d'une transformation reliant deux signaux, ou plusieurs couples de signaux. Au problème d'approximation s'ajoute alors un problème dit d'estimation, pour lequel il sera nécessaire de recourir à des techniques de statistique [4].

Il est probable que les multiplicateurs de Gabor (ni les multiplicateurs d'ondelettes, que l'on étudiera également) ne seront pas suffisants pour traiter des transformations utiles au plan pratique. On se tournera alors vers les multiplicateurs de Gabor généralisés, utilisant deux généralisations proposées récemment: les multiplicateurs multiples, et les fonctions d'étalement de type spline [3]. Dans les deux cas, les aspects théoriques et applicatifs seront développés en parallèle. Les aspects théoriques concernent essentiellement l'étude des propriétés d'approximation par des multiplicateurs généralisés, domaine dans lequel on connaît très peu à l'heure actuelle. Au niveau de l'application aux signaux sonores, il s'agira dans un premier temps de tester la pertinence de ces approches sur les classes de signaux considérées, puis de développer un algorithme d'estimation efficace.

Pour décrire des transformations encore plus générales ou plus complexes, les représentations temps-fréquence classiques ne sont souvent pas suffisamment efficaces. On doit

alors recourir à des alternatives, telles que des représentations hybrides, qui effectuent une décomposition préalable du signal en « couches » (voir [5]). Les transformations pourront alors être appliquées directement sur les couches ainsi obtenues, ce qui offrira une liberté supplémentaire.

Les objectifs principaux de la thèse sont:

- L'analyse fine des propriétés d'approximation d'opérateurs linéaires par multiplicateurs de Gabor. On sait que les opérateurs dont la fonction d'étalement temps-fréquence est à support compact et suffisamment limité peuvent s'écrire comme multiplicateurs de Gabor, mais cette condition n'est pas optimale. Au niveau applicatif, il s'agira de déterminer quelles sont les transformations sonores qui peuvent être bien approximées par des multiplicateurs de Gabor. Ceci suppose de les caractériser mathématiquement au préalable. La question de la mise en oeuvre informatique de ces techniques sera également un point important.
- Une analyse similaire, développée dans le cadre des multiplicateurs généralisés. La question de l'approximation optimale par multiplicateurs généralisés est toujours posée actuellement. Là encore, les aspects algorithmiques seront importants à contrôler.
- Le développement de méthodes permettant l'estimation de masques temps-fréquence à partir d'ensembles de signaux d'entrée et de sortie. Il s'agira d'améliorer les estimateurs déjà proposés dans [4], et d'en étudier les performances, ainsi que leur applicabilité à des situations plus complexes que les signaux simples considérés dans ce travail.
- La mise en oeuvre des méthodes et algorithmes développés dans un outil logiciel suffisamment simple et convivial pour permettre des tests systématiques.
- La validation sur des signaux et des transformations spécifiques. Parmi les classes de signaux envisagées, les bruits de moteur automobile qui constituent un des domaines d'expertise de Genesis, fournissent un bon exemple. Une part significative du travail sera consacrée à des tests sur ce type de signaux.

La thèse s'effectuera à la fois dans les locaux de Genesis et au LATP. Les deux parties apporteront leur expertise respective, dans les domaines appliqués et théoriques.

### **Directeur de Thèse**

B. Torrèsani, LATP Marseille, Université de Provence, CMI, 39 rue Joliot-Curie, 13453 Marseille Cedex 13; [torresan@cmi.univ-mrs.fr](mailto:torresan@cmi.univ-mrs.fr); <http://www.cmi.univ-mrs.fr/~torresan>

Directeur de recherches chez le partenaire industriel:

S. Molla, GENESIS S.A., Bâtiment Gérard Mégie, Domaine du Petit Arbois - BP 69, 13545 Aix-en-Provence Cedex 4. <http://www.genesis.fr/>

**Références:** (voir site web ci-dessus)

[1] R. Carmona, W.L. Hwang, B. Torrèsani: Practical Time-Frequency Analysis: wavelet and Gabor transforms, with an implementation in S; Academic Press (1997).

[2] H. Feichtinger et K. Nowak, *A first survey of Gabor multipliers*, dans *Gabor Analysis and Algorithms*, Feichtinger and Strohmer Eds, Birkhauser (2003).

[3] M. Dörfler et B. Torrèsani, *On the time-frequency representation of operators and generalized Gabor multiplier approximations*, preprint, (septembre 2007)

[4] Ph. Depalle, R. Kronland-Martinet et B. Torrèsani, *Time-Frequency multipliers for sound*

*synthesis*, Proceedings of the *Wavelet XII* conference, SPIE annual Symposium, San Diego (2007)

[5] S. Molla et B. Torrèsani, *An hybrid audio scheme using hidden Markov models of waveforms*, *Applied and Computational Harmonic Analysis* **18**:2 (2005), pp. 137-166.