

# Détection de Signatures Temps-Fréquence sur des Crises d'Epilepsie

M. B. SHAMSOLLAHI\*, L. SENHADJI\*, R. LE BOUQUIN-JEANNES\*, J. M. BADIER\*\*

\*Laboratoire Traitement du Signal et de l'Image, INSERM, Université de Rennes 1, Bâtiment 22,  
Campus de Beaulieu, 35042 RENNES CEDEX, FRANCE.  
Email : shams@ltsi.univ-rennes1.fr

\*\*Unité d'Epileptologie Clinique, Service de Neurologie, CHR de Ponchaillou, 35033 RENNES CEDEX, FRANCE

## RESUME

Parmi les méthodes d'investigation en épilepsie, la stéréo-électroencéphalographie (SEEG) fournit des informations capitales sur des interactions entre structures cérébrales. Ce papier présente une application de l'analyse temps-fréquence sur des signaux SEEG dans le but d'étudier la variabilité de signatures temps-fréquence présentes sur différentes voies d'enregistrement et différentes crises d'un patient donné. Ce problème se pose sous la forme d'un problème de détection de signatures ressemblant à une signature de référence. Quatre statistiques basées sur les informations temps-fréquence de la signature de référence et du signal sont présentées et leurs performances comparées. Les résultats montrent que le lissage des représentations temps-fréquence, (surtout celui effectué par la représentation temps-fréquence dépendant du signal), permet de détecter des signatures ressemblantes.

## ABSTRACT

In the field of epilepsy, the analysis of stereo-electroencephalography (SEEG) signals provides major information on interactions between brain structures during seizures. This paper presents an application of time-frequency analysis on SEEG signals in order to study the variability of time-frequency patterns in different channels and different seizures of a patient. This problem stands as a detection problem of the patterns similar to a reference one. Some statistics based on time-frequency information of the reference pattern and of the observation signal are presented and their performances are compared. The results show that the smoothing of the time-frequency representations, especially that of signal dependent time-frequency representation, allows to detect similar patterns.

## 1 Introduction

La stéréo-électroencéphalographie (SEEG) est une technique d'investigation consistant à enregistrer, à l'aide d'électrodes de profondeur, sur un nombre important de capteurs (de l'ordre de 100), les signaux issus de différentes structures cérébrales [1]. La SEEG est appliquée sur des patients épileptiques candidats à une intervention chirurgicale. Elle fournit des enregistrements de l'activité électrique cérébrale durant les crises d'épilepsie qui peuvent durer de quelques secondes à plusieurs minutes. A travers l'identification et l'analyse de signatures particulières temps-fréquence de ces signaux, l'étude de tels enregistrements peut permettre d'identifier les structures à l'origine des crises et/ou responsables de leur propagation dans le cerveau. La comparaison des différents enregistrements permettrait ensuite d'analyser les signatures temps-fréquence reproductibles. De plus, une signature particulière présente sur les crises d'un (ou de plusieurs) patient(s) pourrait servir à détecter automatiquement les crises d'épilepsie. L'objectif de ce travail est de tester et de comparer certaines méthodes de détection automatique de signatures temps-fréquence en SEEG.

## 2 Méthodes

Soit  $y_i(t)$ ,  $0 \leq t \leq \Delta_s$ ,  $i \in \{1, 2, \dots, N\}$ , l'ensemble des enregistrements d'une crise sur  $N$  voies et  $r(t)$ ,  $0 \leq t \leq \Delta$ ,  $\Delta \ll \Delta_s$ , le signal temporel de référence correspondant à une signature temps-fréquence particulière et

appartenant au signal enregistré sur l'une des voies. On cherche à détecter et à localiser, sur les différentes voies et de manière automatique, une signature ressemblant à celle de la référence. En termes de détection, ceci n'est pas un problème classique de détection d'un signal connu en présence d'un bruit additif, puisque nous n'avons pas de connaissance *a priori* sur les relations entre les différentes voies. Le problème est de détecter, dans un signal multicomposantes,  $y_i(t)$ , correspondant à l'observation sur une voie donnée, la présence d'un signal  $r'(t)$ ,  $0 \leq t \leq \Delta$ , dont les caractéristiques temps-fréquence ressemblent à celles de la référence  $r(t)$ . Pour ce faire, nous nous proposons de calculer une statistique basée sur les informations temps-fréquence [2]. Elle repose sur une corrélation temps-fréquence normalisée entre des Représentations Temps-Fréquence (RTF) de la référence et du signal testé. A chaque instant  $t$ , la statistique est définie par :

$$\eta_i(t) = \frac{\left| \int_{s=0}^{\Delta} \int_f T_r(s, f; \varphi) T_{y_i^t}^*(s, f; \varphi) ds df \right|}{\sqrt{\int_{s=0}^{\Delta} \int_f |T_r(s, f; \varphi)|^2 ds df \int_{s=0}^{\Delta} \int_f |T_{y_i^t}(s, f; \varphi)|^2 ds df}}, \quad 0 \leq t \leq \Delta_s \quad (1)$$

où le signal  $x$  est égal à  $r$  ou  $y_i^t$ ,  $T_{xy}(t, f; \varphi)$  est la RTF croisée entre deux signaux  $x$  et  $y$  avec le noyau  $\varphi$  et  $y_i^t(s)$  est un segment du signal  $y_i$  commençant à l'instant  $t$  et de durée  $\Delta$  :

$$y_i^t(s) = y_i(s+t), \quad 0 \leq s \leq \Delta. \quad (2)$$

On pose  $T_{xx} = T_x$ . En fonction du signal  $x$  et du noyau  $\varphi$ , quatre statistiques sont testées.

### Méthode 1 - $T = DWV ; x = y_i^t$

Dans ce cas, à chaque instant  $t$  la statistique est une corrélation temps-fréquence normalisée entre la Distribution de Wigner-Ville (DWV) de la référence et celle d'un segment, de durée  $\Delta$ , extrait du signal  $y_i$  commençant à  $t$  ( $y_i^t(s)$ ). Il s'agit de déplacer la référence sur le signal, et de calculer à chaque instant une corrélation temps-fréquence. En utilisant la formule de Moyal, cette statistique s'écrit [2] :

$$\eta_i^1(t) = \frac{\left| \int_{s=0}^{\Delta} r(s) y_i(s+t) ds \right|^2}{\int_{s=0}^{\Delta} |r(s)|^2 ds \int_{s=0}^{\Delta} |y_i(s+t)|^2 ds} \quad (3)$$

### Méthode 2 - $T = DWV ; x = r$

Pour cette méthode, la statistique est interprétée, à chaque instant  $t$ , comme une corrélation temps-fréquence normalisée entre la DWV de la référence et celle croisée entre la référence et le segment  $y_i^t(s)$  commençant à  $t$ . La forme simplifiée de cette statistique est [2] :

$$\eta_i^2(t) = \frac{\left| \int_{s=0}^{\Delta} r(s) y_i(s+t) ds \right|}{\sqrt{\int_{s=0}^{\Delta} |r(s)|^2 ds \int_{s=0}^{\Delta} |y_i(s+t)|^2 ds}} = (\eta_i^1(t))^{1/2} \quad (4)$$

### Méthode 3 - $T = DPWVL ; x = r$

Un lissage de la DWV peut être effectué avant de calculer la corrélation temps-fréquence. Cela équivaut à une sorte de filtrage de la référence et de l'observation. Toutes les RTF de la classe de Cohen sont des versions lissées de la DWV et sont susceptibles d'être utilisées. Compte tenu des résultats de différentes distributions de cette classe sur les signaux simulés et réels [3], la Distribution Pseudo Wigner-Ville Lissée (DPWVL) [4] a été adoptée. A chaque instant  $t$ , la statistique est calculée comme la corrélation temps-fréquence normalisée entre la DPWVL de la référence et celle d'un segment du signal commençant à  $t$  :

$$\eta_i^3(t) = \frac{\left| \int_{s=0}^{\Delta} \int_f DPWVL_r(s, f; \varphi) DPWVL_{y_i^t}(s, f; \varphi) ds df \right|}{\sqrt{\int_{s=0}^{\Delta} \int_f |DPWVL_r(s, f; \varphi)|^2 ds df \int_{s=0}^{\Delta} \int_f |DPWVL_{y_i^t}(s, f; \varphi)|^2 ds df}} \quad (5)$$

### Méthode 4 - $\varphi = \varphi_r$ : noyau adapté à la référence ; $x = y_i^t$

Pour avoir un lissage efficace, un noyau adapté à la référence peut servir de noyau dans la formule générale (1). Il faut donc d'abord calculer ce noyau, noté  $\varphi_r$ , selon la méthode de Baraniuk [5]. A chaque instant  $t$ , la statistique est définie comme une corrélation temps-fréquence normalisée entre la RTF Dépendant du Signal (RTFDS) de la référence et la RTF, avec le noyau fixe  $\varphi_r$ , d'un segment du signal commençant à  $t$  :

$$\eta_i^4(t) = \frac{\left| \int_{s=0}^{\Delta} \int_f RTF_r(s, f; \varphi_r) RTF_{y_i^t}(s, f; \varphi_r) ds df \right|}{\sqrt{\int_{s=0}^{\Delta} \int_f |RTF_r(s, f; \varphi_r)|^2 ds df \int_{s=0}^{\Delta} \int_f |RTF_{y_i^t}(s, f; \varphi_r)|^2 ds df}} \quad (6)$$

## 3 Résultats et Discussion

On dispose de 5 enregistrements, d'une durée de 180 s et échantillonnés à 200 Hz, correspondant à 5 crises d'un patient souffrant d'une épilepsie du lobe temporal. Chaque enregistrement a été effectué sur 75 voies uniformément réparties sur 5 électrodes implantées dans le lobe temporal. 36 voies (12 voies sur 3 électrodes A, B et C) ont été choisies pour leur pertinence et à la suite de discussions avec les experts cliniciens. En étudiant le contenu temps-fréquence des enregistrements d'une crise de ce patient, nous avons constaté que le début des signes cliniques de la crise, correspondant à une décharge rapide, se traduit par une signature particulière visible sur la plupart des voies étudiées. Elle est constituée de plusieurs composantes qui semblent correspondre aux harmoniques d'une fondamentale. En analysant le contenu temps-fréquence de l'ensemble des voies, la signature qui apparaît la plus nette est choisie comme référence. La Figure 1 représente une portion de 40 s du signal enregistré sur la voie correspondante ( $B_2$ ) et sa Distribution Pseudo Wigner-Ville Lissée (DPWVL) sur laquelle on distingue cette signature. La référence choisie a une durée de  $\Delta = 5$  s (entre 23 s et 28 s) et est indiquée sur la figure (grand rectangle).

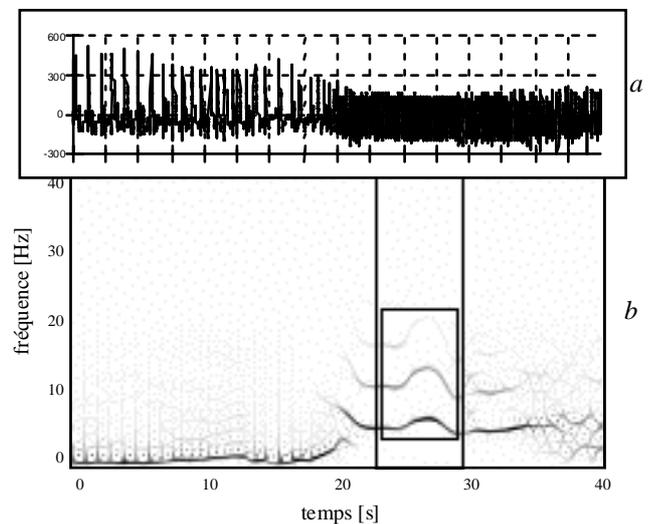


Figure 1. a) Signal relevé sur la voie  $B_2$  (corne d'Amon) ( $\Delta_s = 40$  s), b) sa DPWVL.

La Figure 2 illustre le comportement des quatre statistiques calculées entre la référence et la voie  $B_2$  qui la contient. Toutes les courbes présentent un pic net qui correspond à l'instant où la référence se superpose à elle-même. Le pic le plus étroit est obtenu en appliquant la première statistique.

Dans un second temps, on cherche à détecter une signature similaire à celle de la référence sur les signaux

observés sur les autres voies de la même crise. En étudiant les courbes de corrélation des 35 autres voies, on peut distinguer 3 groupes (Figures 3, 4 et 5). Pour chaque voie du premier groupe (Figure 3), toutes les méthodes mettent clairement en évidence la présence de cette signature mais les méthodes 3 et 4 effectuant un lissage temps-fréquence ont des pics plus élevés. Pour le deuxième groupe, seules ces deux méthodes ont des pics importants à l'instant d'apparition de la signature (Figure 4). Finalement, pour le troisième groupe, aucune statistique ne détecte la présence de la signature retenue (Figure 5). Cette non-détection paraît en accord avec une analyse visuelle du plan temps-fréquence (non présenté ici) dans lequel on ne distingue nullement cette signature.

En termes de détection, le cas où le signal contient la référence correspond à l'estimation de l'instant d'arrivée d'un signal connu. Pour un bruit blanc gaussien et avec une probabilité uniforme de l'instant d'arrivée, le détecteur optimal est le filtre adapté suivi d'un détecteur d'enveloppe [6]. Le détecteur basé sur la DWV de l'observation et celle de la référence équivaut à ce détecteur optimal (Méthode 1, équation 3). Par contre, dans les 3 autres cas le problème diffère, dans la mesure où l'on ne sait pas si le signal utilisé comme référence existe réellement dans l'observation. Mais,

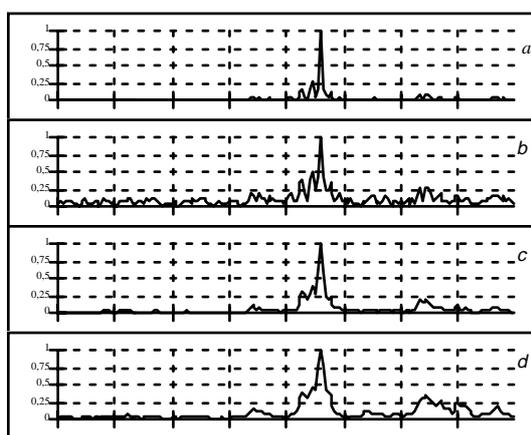


Figure 2. Courbes de corrélation calculées entre la référence et le signal relevé sur la voie  $B_2$ .

a) Méthode 1, b) Méthode 2, c) Méthode 3 et d) Méthode 4. L'axe horizontal désigne le temps (0-40s).

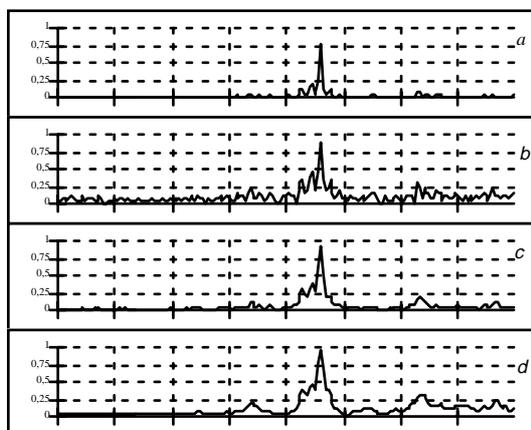


Figure 3. Courbes de corrélation calculées entre la référence et le signal relevé sur la voie  $C_1$  (gyrus parahippocampique) si l'observation contient une signature temps-fréquence ressemblant à la référence, on s'attend à ce qu'elle soit détectée par une corrélation temps-fréquence. Une légère

variation des harmoniques (en forme, position fréquentielle et/ou énergie) entraîne une dégradation de la corrélation temps-fréquence quand la DWV est utilisée en raison de ses bonnes résolutions temporelle et fréquentielle. En revanche, un lissage de la DWV a pour effet d'élargir les composantes du signal dans le plan temps-fréquence, et par conséquent on peut s'attendre à un recouvrement plus important entre les composantes de la référence et celles de l'observation.

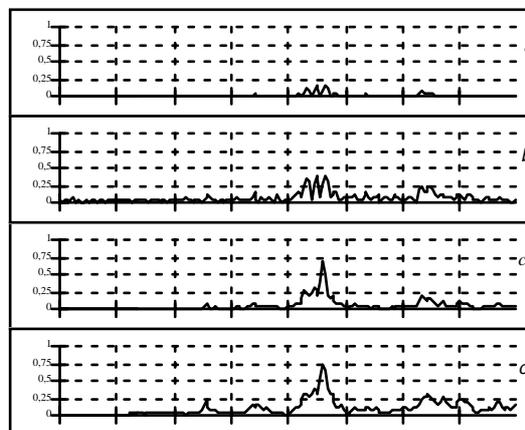


Figure 4. Courbes de corrélation calculées entre la référence et le signal relevé sur la voie  $B_6$  (matière blanche).

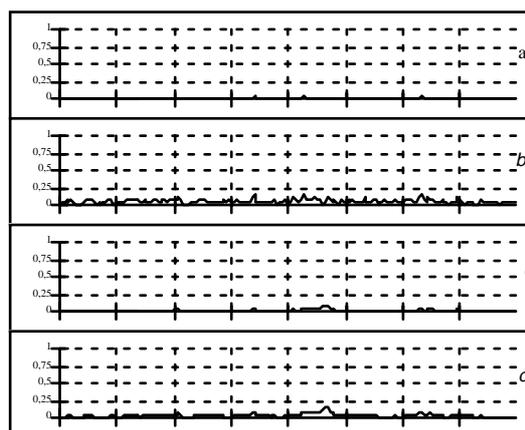


Figure 5. Courbes de corrélation calculées entre la référence et le signal relevé sur la voie  $C_8$  (matière blanche).

Afin de comparer ces méthodes, nous avons tracé leur courbe de performance en calculant la probabilité de fausse alarme et de détection à partir de deux signaux synthétiques construits à partir des enregistrements relatifs à la première crise du patient, un signal de fond de SEEG et un signal contenant un certain nombre de signatures. Les courbes de performance pour les quatre méthodes de détection retenues et pour la référence utilisée dans les Figures 2 à 5 sont illustrées sur la Figure 6. On constate que les méthodes effectuant un lissage se comportent mieux et parmi elles, la méthode basée sur le noyau adapté à la référence présente les meilleures performances. Les deux premières méthodes ont une performance identique étant donné la relation qui les lie.

Dans un dernier temps, les méthodes présentées précédemment ont été appliquées aux signaux enregistrés lors de la deuxième crise du même patient pour la détection d'une

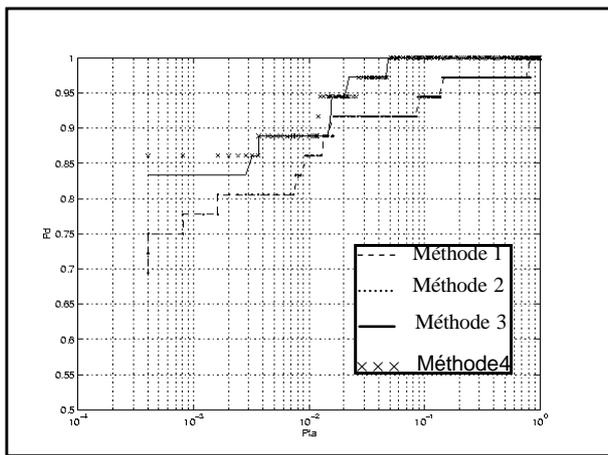


Figure 6. Courbes de performance

signature similaire à celle de la référence appartenant à la première crise. Utilisant cette référence, aucune statistique ne permet de détecter une telle signature alors qu'elle est nettement visible dans le plan temps-fréquence. Etant donné la forme visuellement identique des signatures observées sur les signaux de ces deux crises, la forme générale de la statistique (1) a été modifiée pour pouvoir détecter un éventuel décalage en fréquence. Un médaillon temps-fréquence du support  $[0, \Delta] \times [f_1, f_2]$  du signal  $r(t)$  est choisi comme signature de référence. Compte tenu de l'importance de la fondamentale et de ses deux premières harmoniques, la bande  $[f_1, f_2]$  est choisie de manière à les contenir (petit rectangle sur la Figure 1). A chaque instant  $t$  et pour un décalage fréquentiel  $f$  par rapport à  $f_1$ , une statistique est définie par :

$$\eta_i(t, f) = \frac{\left| \int_{s=0}^{\Delta} \int_{\xi=f_1+f}^{f_2+f} T_r(s, \xi - f; \varphi) T_{y_i}(s, \xi; \varphi) ds d\xi \right|}{\sqrt{\int_{s=0}^{\Delta} \int_{\xi=f_1+f}^{f_2+f} |T_r(s, \xi - f; \varphi)|^2 ds d\xi \int_{s=0}^{\Delta} \int_{\xi=f_1+f}^{f_2+f} |T_{y_i}(s, \xi; \varphi)|^2 ds d\xi}} \quad (7)$$

La Figure 7 représente la corrélation 2D obtenue en déplaçant cette référence sur le plan temps-fréquence du signal enregistré sur la voie  $B_2$  lors de la deuxième crise. La RTF utilisée pour le calcul de la statistique est la RTFDS. Sur cette figure est représentée également la courbe de corrélation correspondant à l'instant où le pic apparaît. Cette courbe montre qu'il y a un décalage de 0.6 Hz entre les signatures relevées sur la première et la deuxième crises. Ce décalage est observé sur toutes les voies.

## 4 Conclusion et Perspectives

Différentes méthodes de détection de signatures temps-fréquence ont été comparées. Les méthodes basées sur des RTF effectuant un lissage ont les performances les meilleures. Elles permettent de détecter les signatures ressemblant à la référence et ayant de légères déformations par rapport à celle-ci. Il s'agit, à court-terme, de pouvoir fixer un seuil de détection automatiquement compte tenu du caractère non stationnaire et non blanc des signaux SEEG critiques. D'autres part, des méthodes de traitement d'image sont envisageables pour étudier la variabilité des signatures ayant de fortes déformations par rapport à la référence sous la forme d'un problème de reconnaissance de formes.

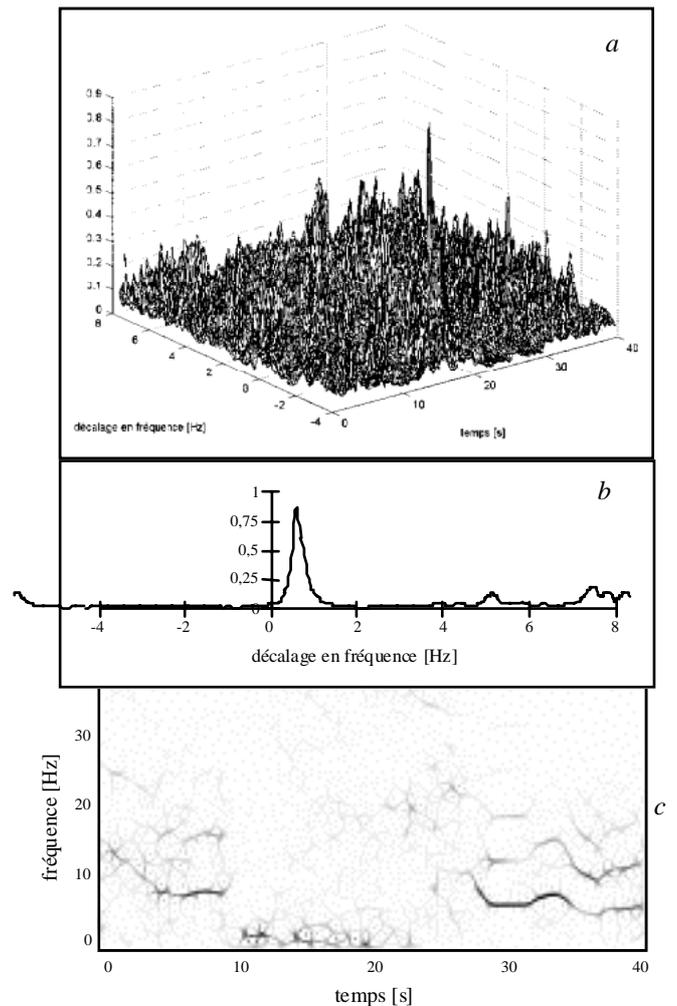


Figure 7. a) Corrélation 2D entre la référence appartenant à la première crise indiquée sur la Figure 1 (petit rectangle) et le signal relevé sur la voie  $B_2$  lors de la deuxième crise, b) courbe correspondant à l'instant du pic et c) DPWVL du signal.

## Références

- [1] Paul L. Nunez, "Neocortical Dynamics and Human EEG Rhythms", Oxford University Press, 1995.
- [2] B. Boashash and P. O'Shea, "A Methodology for Detection and Classification of some Underwater Acoustic Signal using Time-Frequency Analysis Techniques", IEEE Trans. ASSP, Vol. 39, No. 11, pp. 1829-1841, 1990.
- [3] M. B. Shamsollahi *et al.*, "Time-Frequency Analysis: a Comparison of Approaches for Complex SEEG Patterns in Epileptic Seizures", Proc. 17th Ann. Int. Conf. of the IEEE on EMBS, pp. 1069-1070, 1995.
- [4] P. Flandrin, "Temps-Fréquence", Ed. Hermes, 1993.
- [5] R. G. Baraniuk and D. L. Jones, "Signal-Dependent Time-Frequency Analysis using a Radially Gaussian Kernel", Signal Processing, Vol. 32, pp. 263-284, 1993.
- [6] O. Lemoine, "Détection de Signaux Non-Stationnaires par Représentations Temps-Fréquence. Une Classe de Détecteurs", GRETSI, pp. 321-324, 1995.