

10ème Congrès Français d'Acoustique

Lyon, 12-16 Avril 2010

Analyse et comparaison temps-fréquence d'un signal ECG normal et bruité

A. Dliou^{1,2}, R. Latif^{1,2}, E. Aassif², M. Laaboubi², G. Maze³

¹ESSI, Ecole Nationale des Sciences Appliquées, Université Ibn Zohr, Agadir, Maroc, dliou.azzedine@yahoo.fr

²LMTI, Laboratoire de métrologie et du traitement de l'information, Université Ibn Zohr, Agadir, Maroc

³LOMC, Laboratoire Ondes et Milieux Complexes, Université du Havre, Le Havre, France

Le traitement des signaux biomédicaux, tels que électrocardiogramme (ECG), électoencéphalogramme (EEG) et électromyogramme (EMG), est d'une nécessité primordiale dans plusieurs disciplines de la médecine. L'interprétation des signaux cardiaques ECG permet un bon diagnostic des patients dans le but de détecter certaines anomalies. Souvent l'analyse monodimensionnelle de ces signaux se fait traditionnellement dans le domaine temporel par des spécialistes. Cette analyse d'une part ne donne aucune information sur le contenu fréquentiel du signal, et d'autre part l'analyse fréquentielle ne présente aucune information sur la notion du temps. L'analyse des signaux ECG, par les méthodes temporelle et fréquentielle, présente des inconvénients majeurs dans le diagnostic de certains cas très complexes. Ces limites de ces méthodes peuvent rendre l'observation de certaines pathologies difficile et ceci est due à la nature non-stationnaire de ces signaux. Pour dépasser les faiblesses des techniques monodimensionnelles, l'utilisation de la technique temps-fréquence, qui prend en compte à la fois le paramètre temps et le paramètre fréquence, sur des signaux non stationnaire ECG est inévitable. Dans cet article, nous avons utilisé la méthode temps-fréquence par ondelettes pour analyser un signal cardiaque ECG normal et un autre bruité. Les images temps-fréquence obtenues feront l'objet d'une comparaison entre les deux signaux cardiaques normal et bruité.

1 Introduction

La bonne interprétation des signaux biomédicaux, en particulier l'électrocardiogramme, est d'une grande importance afin de conclure sur l'existence d'une pathologie donnée dans le cas traité [1-6]. L'analyse de ce type de signaux par les méthodes monodimensionnelles, temporelle et fréquentielle, présente des faiblesses dues à la nature non-stationnaire de ces signaux. Dans cet article nous avons appliqué la technique temps-fréquence par ondelettes, choisie parmi les différentes méthodes temps-fréquence existantes, pour dépasser les limites des méthodes monodimensionnelles, en utilisant l'ondelette de Morlet comme ondelette d'analyse [7-15]. Cette méthode a été appliquée à deux signaux ECG, un normal et l'autre bruité. Les images temps-fréquence obtenues permettent de visualiser les différentes composantes (onde P, complexe QRS et onde T) du signal ECG. Le résultat obtenu permet de mettre en valeur la puissance de la technique temps-fréquence par ondelettes malgré l'existence de l'effet bruit.

2 Système cardiovasculaire

Le cœur humain pèse entre 200 et 400 grammes et est un petit peu plus gros que le poing. Le cœur est situé entre les poumons, derrière et légèrement à gauche du sternum. Une membrane constituée de deux couches appelée le péricarde entoure le cœur comme un sac. Le cœur est la pompe responsable du maintien d'une circulation adéquate du sang oxygéné dans le réseau vasculaire de l'organisme. Il s'agit d'une pompe à quatre chambres:

- le côté droit reçoit le sang désoxygéné provenant de l'organisme à basse pression et le pompe vers les poumons (circulation pulmonaire)

- le côté gauche reçoit le sang oxygéné provenant des poumons et le pompe à haute pression vers tout l'organisme (circulation systémique).

Les chambres supérieures du cœur sont appelées les oreillettes gauche et droite et les chambres inférieures sont appelées les ventricules gauche et droit. Une paroi musculaire appelée le septum sépare les oreillettes gauche et droite et les ventricules gauche et droit. Le ventricule gauche est la plus grosse et la plus puissante des chambres cardiaques. Les parois du ventricule gauche ne font qu'environ 1 cm d'épaisseur, mais elles sont suffisamment puissantes pour pousser le sang dans la valvule aortique. Quatre types de valvules régulent le débit du sang circulant dans le cœur. La valvule tricuspide notamment régule le débit cardiaque entre l'oreillette droite et le ventricule droit. La valvule mitrale laisse passer le sang oxygéné par les poumons de l'oreillette gauche vers le ventricule gauche. La valvule pulmonaire contrôle le débit sanguin entre le ventricule droit et les artères pulmonaires. La valvule aortique ouvre la voie au sang oxygéné afin que ce dernier puisse passer du ventricule gauche dans l'aorte.

Le cœur et le système circulatoire constituent le système cardiovasculaire. Le cœur fonctionne comme une pompe qui pousse le sang vers les organes, les tissus et les cellules de l'organisme. Le sang transporte l'oxygène et les nutriments vers chaque cellule du corps et élimine le dioxyde de carbone et les métabolites. Le sang est transporté du cœur vers le reste du corps au moyen d'un réseau complexe d'artères, d'artérioles et de capillaires. Le sang est ramené vers le cœur par l'intermédiaire des veines [2,4].

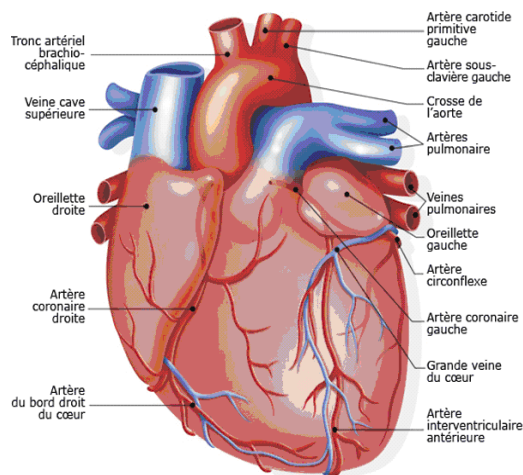


Figure 1 : Cœur humain

3 Electrocardiographie

L'électrocardiographie est la représentation graphique du potentiel électrique qui commande l'activité musculaire du cœur sous forme d'électrocardiogramme.

L'électrocardiogramme (ECG) c'est l'enregistrement sur un support papier standard de la stimulation électrique que le cœur reçoit pour pouvoir se contracter. Le cœur étant un muscle, il a besoin pour se contracter d'une stimulation électrique. Ces influx électriques sont en quelque sorte le reflet de sa bonne santé. C'est un formidable outil diagnostic de pathologies cardiaques rythmiques, musculaires ; et de problèmes extra cardiaques métaboliques, médicamenteux, hémodynamique,....

L'ECG n'est qu'un enregistrement de surface de l'activité électrique du cœur, par des électrodes reliées à un électrocardiographe qui amplifie le signal électrique.

Chaque cycle de dépolarisation/repolarisation du cœur correspond au passage du courant électrique, chez le sujet sain, des oreillettes vers les ventricules qui se contractent dans le même ordre. Sur le plan électrocardiographique, cela se traduit par l'enregistrement, toujours dans le même ordre, de différentes ondes : P, Q, R, S, T, et U [2,4-5].

- Onde P : dépolarisation des oreillettes
 - Complexe QRS : dépolarisation des ventricules
 - Onde T : onde de repolarisation ventriculaire
- Onde U : repolarisation des fibres de Purkinje

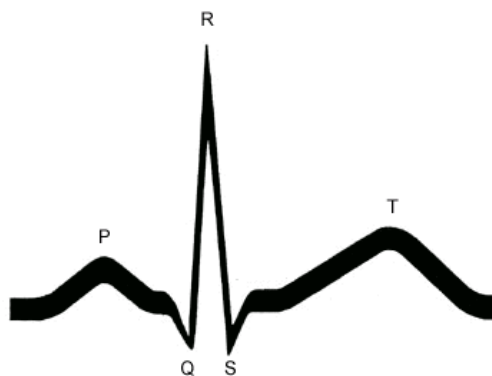


Figure 2 : ECG normal

Les figures 3 et 4 présentent respectivement un signal électrocardiogramme normal et un autre bruité :

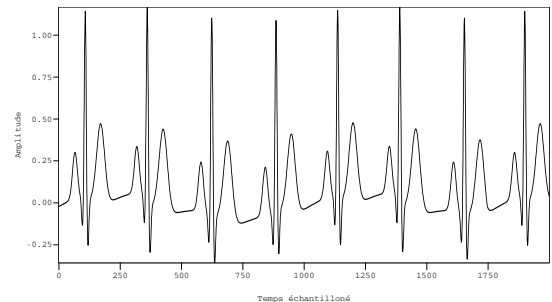


Figure 3 : Exemple d'un électrocardiogramme normal

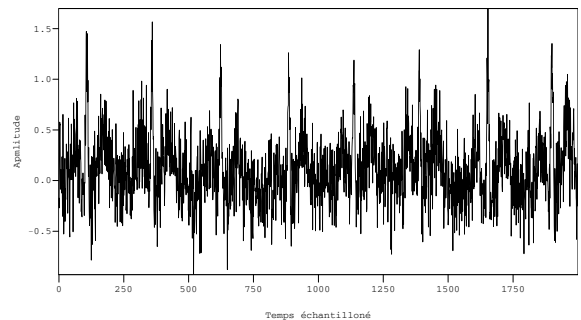


Figure 4 : Exemple d'un électrocardiogramme bruité

4 Analyse temps-fréquence

Dans ce travail, nous avons opté pour la transformée en ondelettes parmi les divers techniques temps-fréquence paramétriques et non paramétriques existantes [7-15].

La transformation temps-fréquence par ondelettes $TO(a,b)$ représente un signal $s(t)$, d'énergie finie, comme une fonction de deux dimensions a et b . Pour un signal $s(t)$ la transformée en ondelettes est donnée par l'expression suivante[8-10].

$$TO(a,b) = \int_{-\infty}^{+\infty} s(t)\psi_{a,b}^*(t) dt \quad (1)$$

Avec $\psi(t)$ est l'ondelette mère, $\psi_{a,b}^*(t)$ est le conjugué complexe de $\psi_{a,b}(t)$, $\psi_{a,b}(t)$ représente des fonctions de base d'ondelette, a désigne l'échelle et b la translation temporelle.

5 Résultats

Les figures 5 et 6 présentent les images temps-fréquence des signaux ECG normal et bruité des figures 3 et 4 respectivement. Ces deux images sont obtenues par le calcul de la transformée en ondelettes utilisant l'équation 1. Sur ces deux images temps-fréquence (figures 5 et 6), on peut distinguer les composantes principales du signal ECG, les ondes P et T et le complexe QRS. L'existence du bruit dans le signal figure 4 rend la distinction des composantes principales du signal ECG dans le domaine temporel difficile, par contre son image temps-fréquence figure 6 permet une bonne lisibilité de ces composantes (ondes P et T et du complexe QRS). On peut remarquer la présence d'une certaine détérioration de la qualité de l'image temps-fréquence figure 6 du signal bruité (figure 4) vis-à-vis de l'image temps-fréquence figure 5 du signal normal (figure 3) mais ceci est lié au facteur bruit.

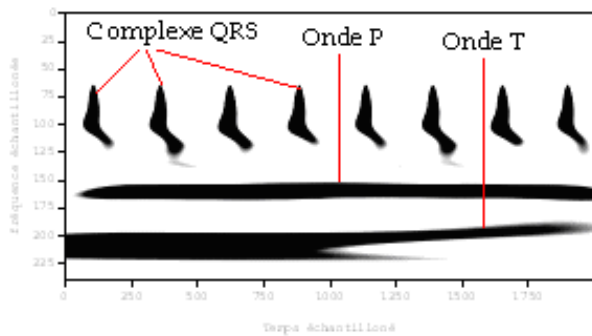


Figure 5 : Image temps-fréquence du signal ECG normal (figure 3)

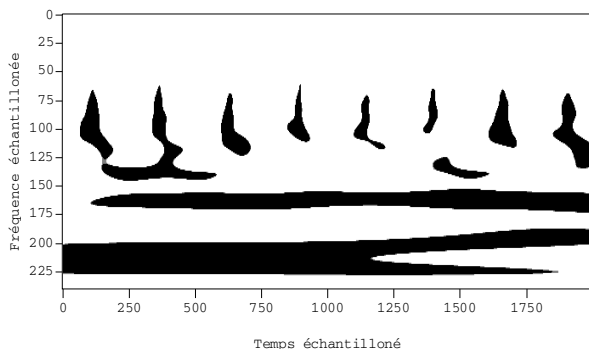


Figure 6 : Image temps-fréquence du signal ECG bruité (figure 4)

6 Conclusion

Les sources du bruit sont plusieurs dans l'enregistrement des différents signaux biomédicaux, en particulier l'électrocardiogramme, dans ce travail, nous avons mis en évidence la puissance de la méthode temps-fréquence par ondelettes est ceci malgré l'impact du bruit. La transformée par ondelettes nous a permis la distinction des différentes composantes du signal ECG, onde P, complexe QRS et onde T des deux signaux normal et bruité. Cette technique temps-fréquence nous a permis, plus de la bonne visualisation des différents composants du signal, leur évolution au cours du temps.

Références

- [1] Schlegel, T. T., et al., "Real-Time 12-Lead High-Frequency QRS Electrocardiography for Enhanced Detection of Myocardial Ischemia and Coronary Artery Disease," Mayo Clin Proc., Vol. 79, pp. 339-350, 2004.
- [2] Shirley A. Jones "ECG Success Exercises in ECG Interpretation", by F. A. Davis Company, 2008.
- [3] Encyclopedia Universalis, tome 8, page 141-147, 1996.
- [4] Gari D. Clifford, Francisco Azuaje, Patrick E. McSharry "Advanced Methods and Tools for ECG Data Analysis", ARTECH HOUSE, INC, 2006.
- [5] Clifford, G. D., F. Azuaje, and P. E. McSharry, "Advanced Tools for ECG Analysis", ARTECH HOUSE, INC, September 2006.
- [6] Fisch C. The clinical electrocardiogram : A classic, in : Circulation 62 (Suppl. III), 1-4, 1980.
- [7] M. Niethammer, L.J. Jacobs, J. Qu, J. Jarzinsky, "Time-frequency representation of lamb waves using the reassigned spectrogram", J. Acoust. SOC. Am. 107, pp 19-24, 2000.
- [8] A. Dliou, R. Latif, E. Aassif, G. Maze "Time-frequency analysis by wavelet transform of an electrocardiogram signal (ECG)", International Conference on Bioengineering & Biomaterials, Meknes, Morocco, March 18,19 & 20 2009.
- [9] A. ALDROUBI, "The wavelet transform : a surfing guide", Wavelets in Medicine and Biology, CRC Press, Boca Raton, FL, pp.37-73, 1996.
- [10] Z. ZHANG, H. KAWABATA, Z.Q. LIU, "Electroencephalogram analysis using fast wavelet transform". Computers in biology and medicine 31, pp. 429-440, 2001.
- [11] R. Latif, E. Aassif, A. Moudden, B. Faiz, "High resolution time-frequency analysis of an acoustic signal backscattered by a cylindrical shell using a Modified Wigner-Ville representation", Meas. Sci. Technol. 14, pp. 1063-1067, 2003.
- [12] P. FLANDRIN, B. ESCUDIC, " Principe et mise en œuvre de l'analyse temps-fréquence par transformation de Wigner-Ville", Trait. Signal 2, 143-151, 1985.
- [13] ALPHA, tome 6, page 2157, éd. Grange Batelière.
- [14] Oppenheim, A. V., and R.W. Schaffer, "Discrete-Time Signal Processing, Englewood Cliffs", NJ: Prentice-Hall, 1999.
- [15] P. Flandrin, "Temps-fréquence", Hermès, Paris, 1993.