

# Séparation des rythmes cardiaques mère-foetus

ENS - M1 SIF 2018 - Projet de traitement du signal (n°4)

## Contexte et objectifs

L'électrocardiogramme est un signal issu de l'enregistrement des potentiels électriques à la surface de la peau d'un patient, en vue d'étudier le fonctionnement de son coeur. De nombreuses informations sur l'état pathologique d'un patient peuvent en être déduites, mais dans ce sujet on se limitera à la détermination du rythme cardiaque global (nombre de battements par minute.) L'ECG est un examen peu coûteux et non invasif, donc très utilisé, en particulier pour le monitoring de la grossesse. Dans ce cas, deux coeurs étant enregistrés (celui de la mère et celui du foetus), des traitements supplémentaires peuvent être mis en oeuvre pour « séparer » leurs contributions dans le signal total. Il est usuel dans ce cas d'utiliser plusieurs électrodes.

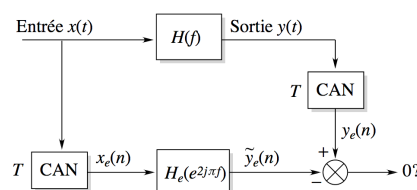
Ce mini-projet vise à :

- Implémenter une méthode d'estimation du rythme cardiaque à partir de l'enregistrement ECG d'un patient.
- Implémenter deux méthodes permettant de séparer les signaux cardiaques de la mère et du foetus à partir de l'enregistrement de deux signaux ECG d'une patiente enceinte.

## 1 Etude de l'ECG mono

Dans cette partie préliminaire, on étudie un enregistrement ECG monocanal (un seul signal, issu d'une seule électrode) captant le battement d'un seul coeur.

1. Visualiser les enregistrements ECG fournis et leur transformée de Fourier sur différentes tailles de fenêtre. Repérer les ordres de grandeur attendus pour le rythme cardiaque (durée de la période du signal, qui est quasi-périodique) afin de guider les traitements ultérieurs.
2. Sur la base de l'aspect du signal, proposer une méthode simple (temporelle) de détection du rythme cardiaque.
3. Afin de rendre cette méthode plus robuste, on décide d'ajouter deux traitements : un filtre passe-bas destiné à supprimer les parasites dans la bande non utile du signal, puis un détecteur d'attaque composé de l'enchaînement des opérations suivantes :
  - Un « redressement double alternance » ( $y[n] = |x[n]|^2$ )
  - Un filtre RIF **dérivateur**. On pourra considérer le schéma suivant. (On exprimera les transformées de Fourier continues ou à temps discret en jeu ; à partir de l'expression d'un filtre dérivateur idéal dans le domaine continu, on en déduira un filtre dérivateur numérique, puis son approximation par la méthode de la fenêtre. Implémenter, vérifier et illustrer le filtre construit comme précédemment.



- Un seuillage des pics du signal obtenu après filtrage, et la recherche de périodicité sur ce signal.

## 2 Séparation déterministe à partir des ECG mère-foetus

Dans cette partie, on dispose des signaux de deux électrodes, une électrode dite « thoracique » et une électrode « abdominale », qui capte l'une et l'autre des versions filtrées des signaux du coeur de la mère et du coeur du foetus. Ce problème de séparation dite « aveugle » (ni les signaux, ni les filtres ne sont connus) ne peut être résolu qu'en faisant des hypothèses de modélisation. On considère dans cette partie que les signaux sont déterministes et que l'on peut faire les hypothèses simplificatrices suivantes :

- On suppose négligeables les activités électriques des autres organes (muscles, poumons...)
- On suppose que le signal du coeur de la mère,  $x_M$  met plus de temps à arriver à l'électrode abdominale qu'à l'électrode ventrale (retards  $n_T < n_A$ )
- On suppose que le signal thoracique ne capte pas le coeur du foetus  $x_F$ , mais seulement une version filtrée de l'activité électrique du coeur de la mère.
- On suppose que le signal abdominal capte une superposition de l'activité du coeur du foetus (sans filtrage) et d'une version filtrée de l'activité du coeur de la mère.
- On suppose connus l'ordre des filtres.
- On a donc (notations) :

$$\begin{cases} y_T(n) = g_1 x_M(n - n_T) + \dots + g_K x_M(n - n_T - K + 1) \\ y_A(n) = f_1 x_M(n - n_A) + \dots + f_P x_M(n - n_A - P + 1) + x_F(n) \end{cases}$$

- On suppose que l'inverse  $g^{-1}$  du filtre  $g$  peut être approché par un filtre RIF  $h$  tel que :  $y_A(n) = h_0 y_T(n) + \dots + h_L y_T(n - L + 1) + x_F(n)$
- 1. Montrer que sous ces hypothèses, le problème de séparation s'écrit comme un modèle paramétrique linéaire, que l'on peut résoudre par les moindres carrés.
- 2. On cherchera à écrire une relation de type :

$$\mathbf{x}_1 = \mathbf{X}_2 \mathbf{h} + \mathbf{x}_F$$

où  $\mathbf{x}_1$  et  $\mathbf{X}_2$  sont un vecteur et une matrice dépendant des observations.

- 3. En déduire, par la méthode des moindres carrés, un estimateur du filtre  $\mathbf{h}$  puis un estimateur du signal cardiaque du foetus.
- 4. Estimer le rythme cardiaque du foetus. Etait-il « visible » si l'on avait appliqué la méthode de la partie 1 sur les signaux mélangés ?

## 3 Séparation probabiliste à partir des ECG mère-foetus

La séparation de signaux peut également se mettre en oeuvre de manière plus générique, en faisant une hypothèse d'indépendance statistique des deux signaux sources. On suppose un modèle de mélange linéaire instantané (sans filtrage), pouvant être écrit matriciellement :  $\mathbf{Y} = \mathbf{A}\mathbf{X}$  où

- $\mathbf{X}$  est une matrice de taille  $2 \times N$  dont chaque colonne est le vecteur  $[x_M(n), x_F(n)]^T$
- $\mathbf{Y}$  est une matrice de taille  $2 \times N$  dont chaque colonne est le vecteur  $[y_T(n), y_A(n)]^T$
- $\mathbf{A}$  est une « matrice de mélange » de taille  $2 \times 2$ , ne dépendant pas du temps, inconnue.

Le principe de l'Analyse en Composantes Indépendantes est de chercher une matrice  $\mathbf{B}$  telle que :  $\hat{\mathbf{X}} = \mathbf{B}\mathbf{Y} = \mathbf{D}\mathbf{P}\mathbf{X}$ , où les lignes de  $\hat{\mathbf{X}}$  sont mutuellement indépendantes,  $\mathbf{D}$  est une matrice diagonale (indétermination d'échelle) et  $\mathbf{P}$  est une matrice de permutation (indétermination d'ordre).

- 1. À partir des éléments vus en cours et de l'article joint, implémenter une méthode de séparation des ECG mère-enfant
- 2. Estimer le rythme cardiaque obtenu et le comparer à la méthode précédente.