

# Fetal ECG extraction

Yassine Jamoud, Samy Haffoudhi

17 décembre 2021

# Introduction

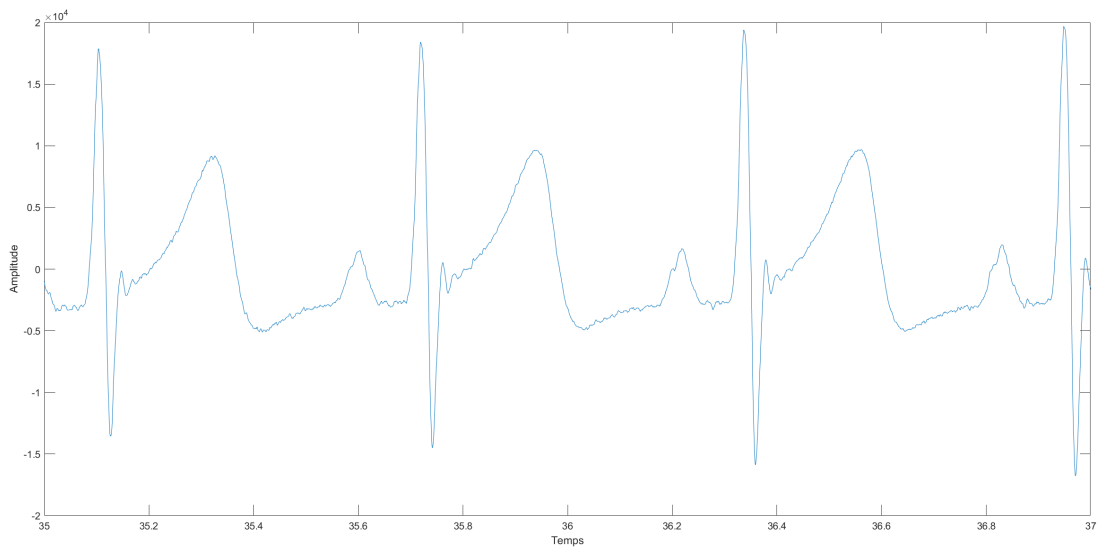
Le but de ce TP est d'extraire un ECG fœtal à partir de mesures issues de capteurs abdominaux. Nous allons commencer par l'analyse et la détection de pics R d'un ECG sain. Puis nous passerons à l'extraction d'un ECG fœtal en implémentant deux méthodes complémentaires : le filtrage spatial par PCA (periodic component analysis ) et le filtre de Kalman étendu.

## 1 Healthy ECG signal analysis

### 1.1 Basic analysis

Commençons par représenter le signal ECG considéré :

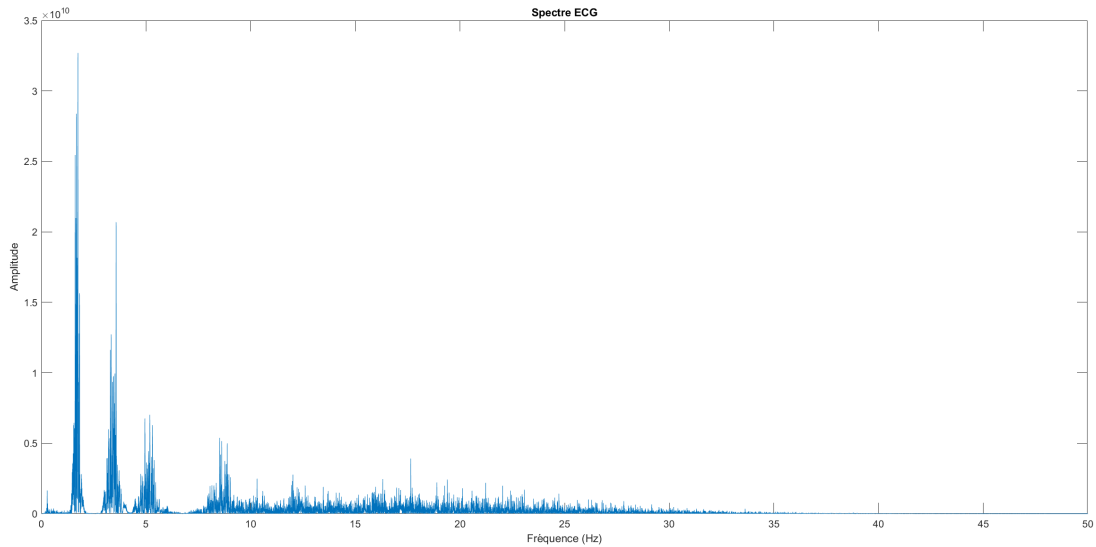
FIGURE 1 – Signal ECG



On reconnaît bien l'allure générale d'un ECG sain. On peut en particulier, distinguer les différentes ondes et observer la quasi-périodicité du spectre.

Représentons le spectre associé :

FIGURE 2 – Spectre de l'ECG

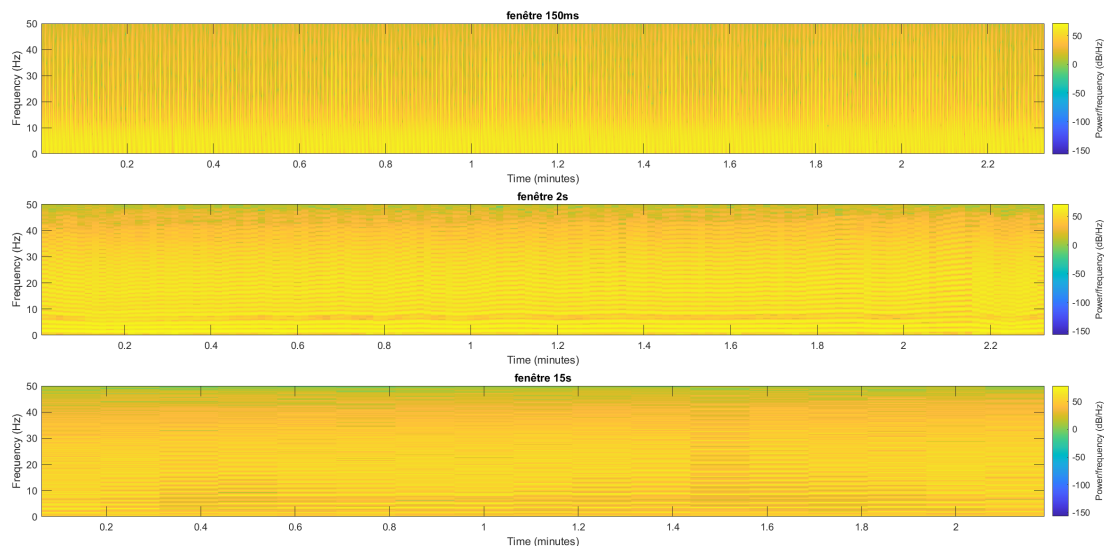


On remarque que les composantes fréquentielles du signal correspondent à de basses fréquences, on se restreint à un tracé du spectre entre 0 et 50 Hz. Par ailleurs, les amplitudes sont globalement décroissantes avec la fréquence et le spectre s'apparente à un peigne de Dirac, ce qui s'explique par la quasi-périodicité du signal.

Le spectre ne permettant pas d'obtenir des informations temporelles, on s'intéresse maintenant au spectrogramme du signal.

Représentons le spectrogramme pour trois choix différents de taille de fenêtre :

FIGURE 3 – Spectrogramme de l'ECG



On peut observer l'influence de la taille de la fenêtre sur l'allure du spectrogramme obtenu. En effet, pour une fenêtre plus courte, d'une durée de 150ms, on observe un étalement en fréquences tandis que pour une durée plus importante, 2s, on a cette fois un étalement moins important en

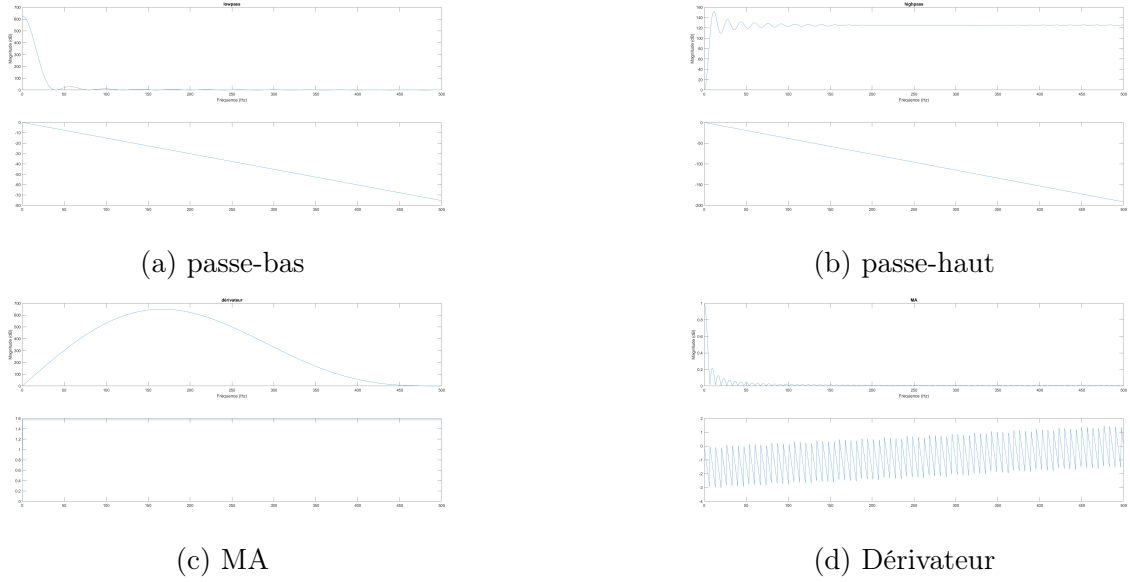


FIGURE 4 – Réponses fréquentielles

fréquences. Cette dualité temps-fréquence nécessite alors un choix de paramètre adapté à l'information recherchée sur le spectrogramme. Par ailleurs, pour la fenêtre de durée 15s on peut observer clairement un spectre des raies mais de fréquence variant légèrement en fonction du temps car le signal n'est pas parfaitement périodique/

## 1.2 R peak detection

### 1.2.1 Design and analysis of filters

Le processus de détection des pics R repose sur l'utilisation de plusieurs filtres.

- Un filtre passe-bas :  $H(z) = \frac{(1-z^{-n})^2}{(1-z^{-1})^2}$  avec  $n = \frac{F_s}{F_c} = \frac{1000}{40} = 25$ , n impair pour avoir un retard entier
- Un filtre passe-haut :  $H(z) = nz^{-\frac{n-1}{2}} - \frac{1-z^{-1}}{1-z^{-1}}$  avec  $n = \frac{F_s}{F_c} = \frac{1000}{8} = 125$ , n impair pour avoir un retard entier.
- Un filtre dérivateur
- Un filtre MA :  $H(z) = \frac{1}{n} \frac{1-z^{-n}}{1-z^{-1}}$  avec  $n = 149$ . En effet, pour  $F_s = 200$  Hz, les auteurs de l'article ont  $n = 30$ , on choisit 149 pour obtenir n impair.

Représentons les réponses des différents filtres :

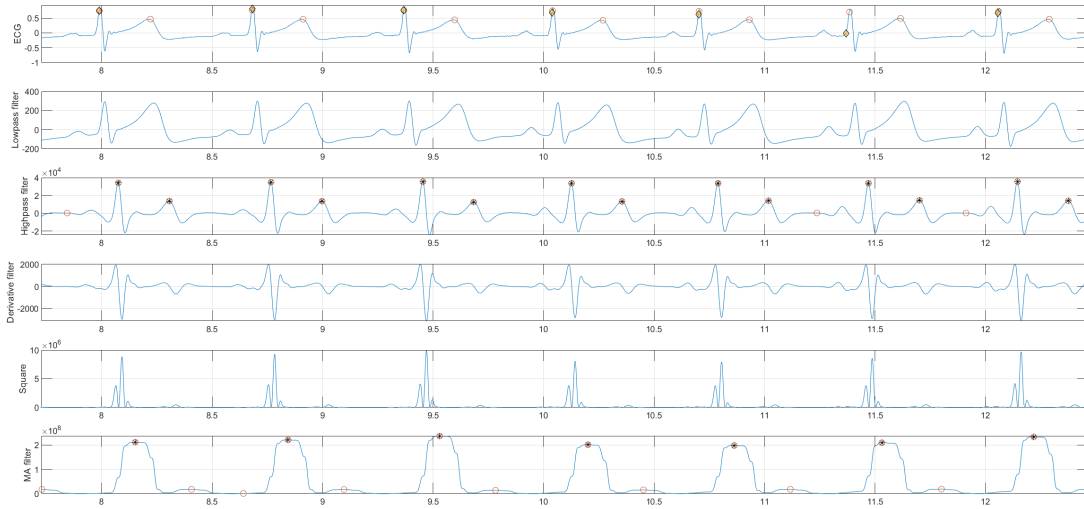
On observe alors que les tracés pour les différents filtres ont bien les allures attendues, avec les bonnes fréquences de coupure et une phase linéaire pour le passe-bas et le passe-haut.

Le terme  $z^{-2}$  pour le filtre déviateur est nécessaire car il permet d'assurer la causalité du filtre, ce qui assure que le système ne dépende pas du futur.

### 1.2.2 Algorithm to detect R peaks

Représentons les résultats obtenus par les algorithmes de détection de pics R :

FIGURE 5 – Résultats des algorithmes



On observe alors sur la figure ci-dessus que :

- Chacun des deux algorithmes pris séparément détecte les pics R mais aussi les pics T
- La prise en compte des deux algorithmes permet d'éliminer la détection des pics T
- La détection n'est quand même pas parfaite. On voit que les pics sont parfois détectés avec un léger décalage

Ainsi, ces algorithmes simples à mettre en œuvre et peu coûteux en calculs permettent d'obtenir des résultats satisfaisants sur un ECG sain.

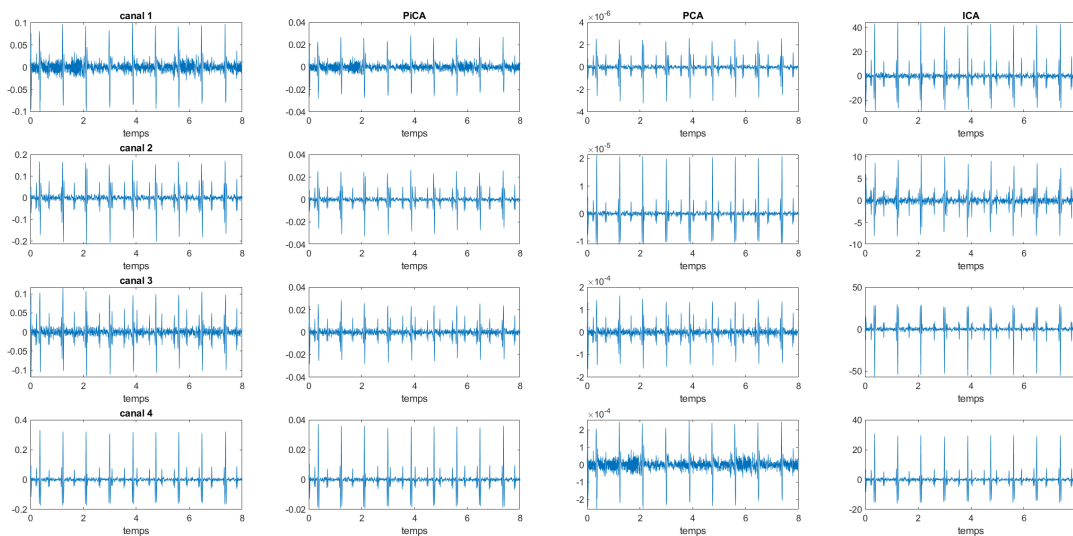
## 2 Fetal ECG extraction

### 2.1 Spatial filtering : $\pi$ CA

On commence par filtrer les données afin de retirer la ligne de base. On choisit une fréquence de coupure  $f_c = 40$  Hz et on a alors  $N = \frac{1000}{40} = 25$ .

En implémentant les différents algorithmes, on obtient les résultats suivants :

FIGURE 6 – Résultats des algorithmes



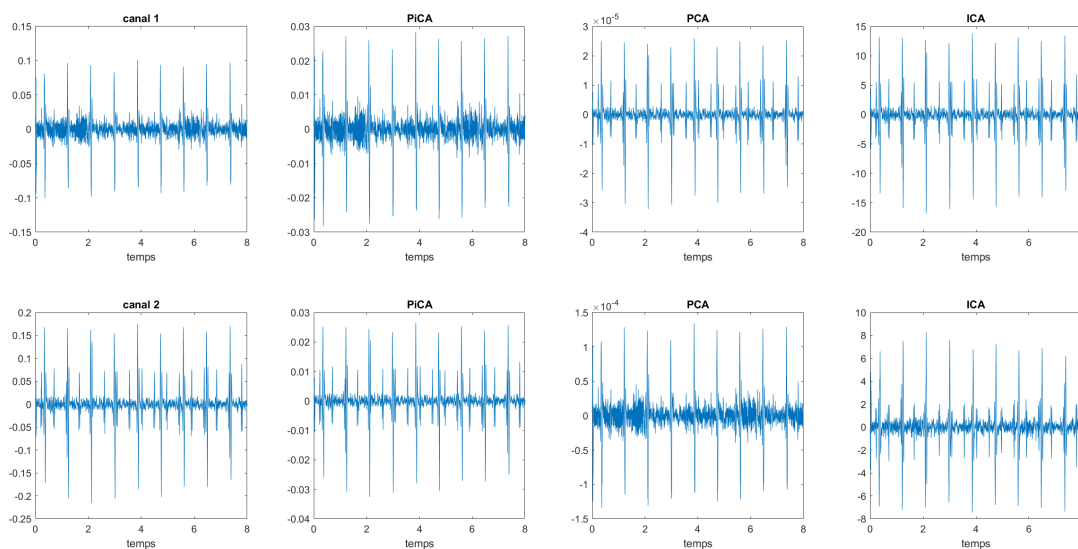
On observe alors que :

- On a pu séparer les deux ECG dans la majorité des cas.
- Pour le premier canal, où les données semblent le plus bruité, l'algorithme PiCA n'a pas permis de séparer les deux ECG.
- Pour le canal 4, c'est l'algorithme PCA qui fournit cette fois le moins bon résultat en amplifiant le bruit.
- L'algorithme ICA est le moins performant sur le canal 2 puisqu'il amplifie le bruit.

Ainsi, aucun des algorithmes n'apparaît clairement comme plus efficace que les autres, les résultats dépendent des données en entrée.

Restreignons nous maintenant aux deux premiers canaux et affichant les résultats :

FIGURE 7 – Résultats des algorithmes



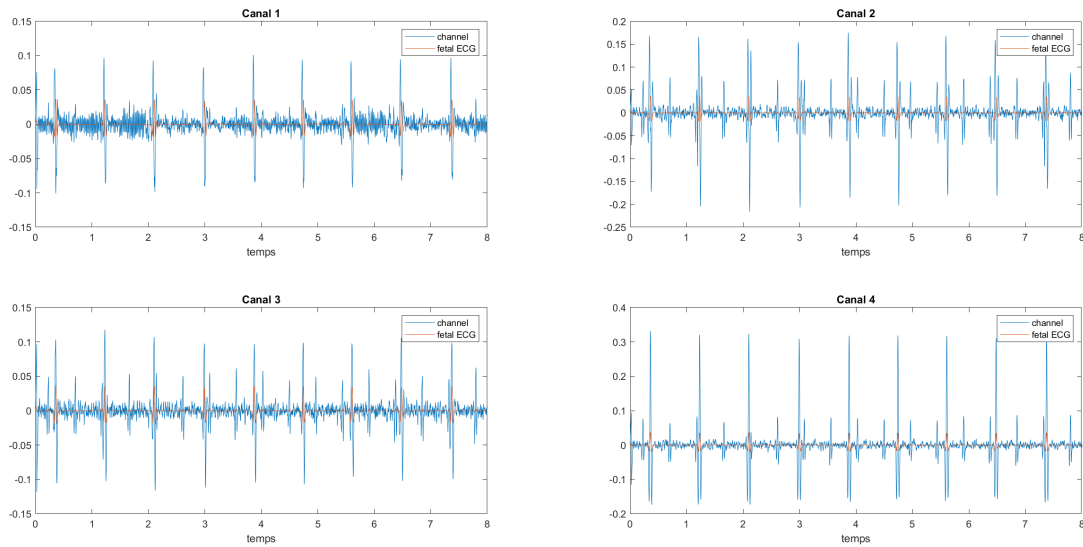
On voit que les résultats pour les algorithmes PCA et ICA sont moins bons que lorsqu'on disposait des données des 4 capteurs. Par exemple pour le canal 2, le bruit est amplifié par l'algorithme PCA, ce qui n'était pas le cas précédemment.

## 2.2 ECG denoising by extended Kalman filtering

Le principe de cette dernière méthode est à partir de données bruitées et d'un modèle d'observation, non forcément linéaire, obtenir de meilleures données.

Appliquons maintenant la méthode du filtre de Kalman étendu. On choisit de considérer les données du 4ème canal contenant l'ECG du fœtus. On obtient les résultats suivants :

FIGURE 8 – Résultats du filtre de Kalman étendu



On observe que pour les 4 canaux, c'est l'ECG de la mère qui est extrait et non pas celui du fœtus. Ce qui peut laisser penser à une erreur d'implémentation de notre part.

## Conclusion

Ainsi, lors de TP nous avons pu mettre en œuvre différents algorithmes permettant l'analyse de signaux ECG. Tout d'abord lors de la première partie, nous avons pu observer différentes propriétés des signaux ECG à l'aide du tracé spectre et du spectrogramme, telles que la quasi-périodicité. Nous avons alors par la suite, pu implémenter un processus permettant la détection de pics R à l'aide de l'utilisation de différents filtres. Ce processus simple permet toutefois d'obtenir de très bons résultats. Ensuite, nous avons implémenté les algorithmes  $\pi$ CA, PCA et ICA pour réaliser l'extraction de l'ECG d'un fœtus. On a alors observé qu'aucun des algorithmes ne semble se démarquer et qu'il convient de tous les tester sur les données pour choisir celui fournissant le meilleur résultat. Aussi, l'algorithme  $\pi$ CA a fourni de meilleurs résultats lors de l'utilisation des 4 canaux qu'uniquement 2 de ces canaux. Enfin, la méthode du filtre de Kalman étendu permet de bien éliminer le bruit et d'obtenir un signal ECG clair en sortie mais dans notre cas, les résultats obtenus ne sont pas satisfaisants puisqu'ils ne correspondent pas à l'ECG du fœtus.