

---

## Traitement des signaux électrocardiographiques (ECG)

Les modalités de rendu et d'évaluation de votre travail sont précisées dans le fichier "Modalités du travail en autonomie de Traitement du Signal" disponible sur le serveur pédagogique.

---

### Introduction

Lors du fonctionnement d'un coeur humain, des courants électriques sont générés à l'intérieur de celui-ci puis s'étendent à travers tout le corps (voir l'illustration figure 1). Grâce à des électrodes placées sur la peau d'un patient, il est possible de mesurer cette activité électrique. Cette technique appelée électrocardiographie et très largement répandue dans le domaine de la santé, est une méthode non-invasive pour observer, analyser et diagnostiquer le fonctionnement cardiaque d'un patient. Les signaux issus de cette mesure de l'activité électrique du coeur sont appelés des signaux ECG.

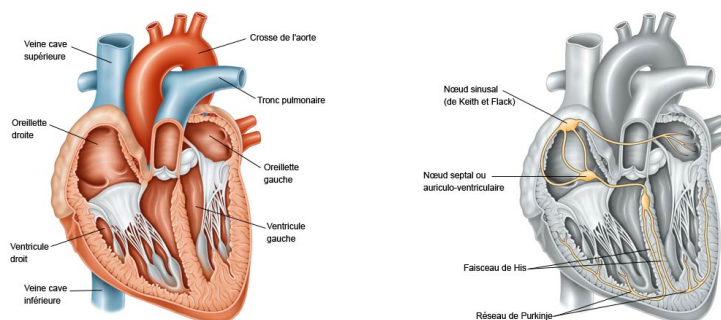


FIGURE 1 – Anatomie et système électrique du coeur humain.

Comme illustré sur la figure 2, un battement cardiaque normal laisse une trace typique sur l'électrocardiogramme, trace constituée d'"ondes" qui s'interprète de la façon suivante :

- l'onde P représente la contraction des oreillettes.
- l'espace entre P et R (nommé "intervalle PR") mesure le temps que met l'influx nerveux pour aller des oreillettes aux ventricules. Au repos sa durée normale est de 0,12 à 0,20 sec, et elle diminue lorsque la fréquence cardiaque augmente.
- le "complexe QRS" correspond à la contraction des ventricules. Sa durée est habituellement inférieure à 0,11 sec.
- le segment ST traduit la fin de la contraction des ventricules.
- l'onde T est due à la relaxation des ventricules en fin de contraction et le retour du coeur à un état propice à une nouvelle contraction (le signal correspondant à la relaxation des oreillettes est caché par le complexe QRS).

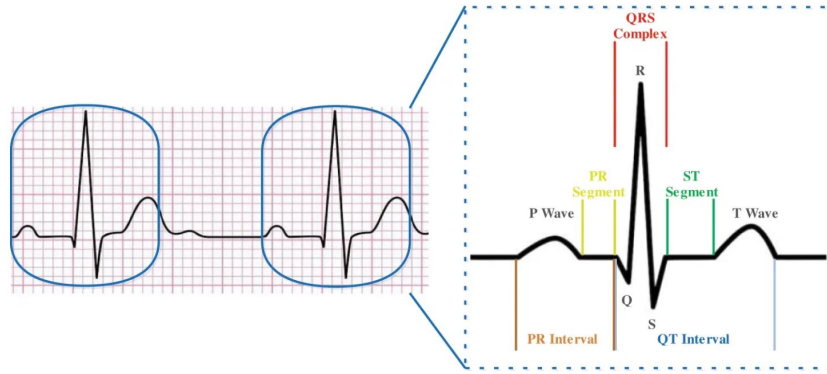


FIGURE 2 – Modèle de composition pour les signaux ECG.

Les principales mesures que le cardiologue effectue lors de l'analyse d'un ECG sont celles de l'onde P, de l'espace PR, du complexe QRS, de l'espace QT, du segment ST et enfin de l'onde T. Il mesure la durée et l'amplitude de chaque onde et le temps écoulé entre les différentes phases de la contraction. Aussi, la mesure du temps écoulé entre deux points R successifs permet de suivre la fréquence cardiaque et de repérer les problèmes d'arythmie.

Cependant, les signaux ECG mesurés sont inévitablement entachés de composantes indésirables, ou "bruits", provenant de l'activité électrique des autres organes ou zones du corps humain et du système de mesure lui-même (les signaux physiologiques sont de faible amplitude). L'allure des signaux ECG mesurés peut alors être grandement modifiée et cela peut conduire à des erreurs de diagnostic importantes lorsque celui-ci se base sur des mesures temporelles comme celles décrites plus haut.

Le travail demandé dans ce sujet d'autonomie consiste à mettre en oeuvre des techniques de traitement du signal permettant de supprimer le bruit des signaux ECG mesurés afin d'obtenir une bonne estimation des caractéristiques cardiaques. Le travail se décompose ainsi en 2 parties :

**Partie I :** Analyse des signaux ECG mesurés

**Partie II :** Filtrage fréquentiel et diagnostic

## I - Analyse des signaux ECG mesurés

Le signal produit par le système d'électrocardiogramme est un signal discret  $y^*$  obtenu par échantillonnage à la période  $T_s$  du signal analogique  $y$  défini par :

$$y = x + b \quad (1)$$

où  $x$  est le signal ECG du coeur (signal utile) et  $b$  est le bruit. Les échantillons  $y_k$  mesurés pour un enregistrement de durée  $T_a = 20$  sec sont contenus dans le fichier `data.mat`. Le script Matlab `TraitementECG.m`, que vous complétez au fur et à mesure des parties I et II, permet de charger ce fichier afin de récupérer ces échantillons dans un vecteur  $y$ .

1. Déterminer la période d'échantillonnage  $T_s$  et tracer le signal mesuré.
2. À partir des échantillons du fichier `data.mat`, tracer le module de la TF du signal analogique  $y$  en ayant soin d'appliquer au préalable un fenêtrage temporel dont on justifiera le choix et l'intérêt.

Le fichier `bruit.mat` contient les échantillons  $b_k$  du signal aléatoire  $b$  obtenu à partir d'un second enregistrement sur lequel le signal utile  $x$  a été éliminé grâce à une seconde mesure utilisant une sonde invasive placée directement sur la paroi du coeur.

3. Tracer la densité spectrale de puissance  $S_b(\nu)$  du signal  $b$ .
4. Que pouvez-vous apprendre de ces représentations temporelle et fréquentielle concernant le signal utile  $x$  et le bruit  $b$  ?

Pour le diagnostic cardiaque, l'oreille est également un bon capteur au sens où une oreille attentive et exercée saura reconnaître des troubles cardiaques en écoutant le coeur. La commande matlab `sound(y,nus)` permet de faire jouer l'enregistrement d'un signal  $y$  échantillonné à la fréquence  $\nu_s$ , mais malheureusement, elle ne peut jouer des sons échantillonnés à moins de 1000 Hz et l'enregistrement disponible dans `data.mat` a été échantillonné, sans perte d'information, à une fréquence  $\nu_s = 200$  Hz.

5. Construire, avec la méthode d'interpolation par TFD vue au TD5, un signal discret  $y_M^*$  dont la fréquence d'échantillonnage  $\nu_{sM}$  est strictement supérieure à 1000 Hz.
6. Écouter le signal  $y_M$  obtenu. Noter la présence du bruit.

## II - Filtrage fréquentiel et diagnostic

Cette seconde partie a pour objectif de développer et d'implémenter les traitements qui permettent de débruiter le signal mesuré  $y$  puis d'effectuer quelques mesures utilisées par les méthodes de diagnostic cardiaque.

7. Dédire des observations précédentes le traitement à mettre en oeuvre pour extraire le signal utile  $x$  à partir du signal mesuré  $y$ . On notera  $z$  le signal débruité en sortie du traitement.
8. Implémenter cette solution avec un filtre RIF à phase linéaire, conçu avec la méthode de l'échantillonnage fréquentiel vue au CM6, et dont le temps de groupe doit vérifier  $\tau_g \leq 0,2$  sec.
9. Tracer, en les superposant, les représentations temporelle et fréquentielle du signal mesuré  $y$  et du signal débruité  $z$ , et vérifiez que ce dernier est conforme aux attentes.  
Rq : pour obtenir une bonne superposition dans le domaine temporelle, il faudra compenser le temps de groupe du filtre à l'aide de la commande matlab `circshift` appliquée au signal  $z$ .
10. Tracer et écouter le signal  $z_M$  obtenu par interpolation de  $z$  d'un facteur  $M$ .

Pour le diagnostic, on se propose de mesurer l'intervalle RT, noté  $T_{RT}$ , qui correspond à la durée (en seconde) séparant le maximum de l'onde R au maximum de l'onde T, ainsi que le rythme cardiaque, en Hz ou en battements par minute (bpm), qui sera noté  $\nu_0$ . Pour vous aider, le script matlab `TraitementECG.m` contient le code permettant, pour un signal ECG mesuré et interpolé  $y_M$  donné, de calculer la séquence d'intervalle RT, notée  $T_{RT}(k)$  avec  $k \in \{1, \dots, K\}$  dans lequel  $K = 25$  est le nombre de battements de coeur dans l'enregistrement `data.mat`.

11. Utilisez le code mentionné ci-dessus pour calculer et tracer les séquences d'intervalle RT pour le signal mesuré interpolé  $y_M$  et le signal débruité interpolé  $z_M$ .
12. Comparer les séquences  $T_{RT}(k)$  obtenues avec les signaux  $y_M$  et  $z_M$  et conclure sur l'intérêt de l'opération de débruitage en évaluant la valeur moyenne et l'écart-type de chacune des deux séquences.
13. Proposer et implémenter une méthode temporelle permettant de calculer la séquence  $\nu_0(k)$ ,  $k \in \{1, \dots, K\}$ , et donc de suivre le rythme cardiaque  $\nu_0$  d'un patient en fonction des battements successifs. L'opération de débruitage a-t-elle un intérêt dans ce cas ? Pourquoi ?