

Suivi du cycle cardiaque chez l'athlète : comparaison entre montre connectée et oxymètre de pouls

Ancrage au thème : Le cycle cardiaque est un phénomène physiologique caractérisé par les répétitions des phases de contraction et de relaxation du cœur. Ce mécanisme, indispensable au bon fonctionnement de l'organisme, est d'autant plus sollicité lors d'efforts physiques.

Motivation du choix : Pratiquant la course à pied en compétition, je cherche à suivre mon cycle cardiaque afin d'améliorer mes performances et de prévenir les risques. J'utilise une montre connectée, mais je doute de sa fiabilité face à un oxymètre, qui mesure aussi la SpO₂. Mon objectif est d'identifier la méthode la plus adaptée.

1. Positionnements thématiques :

Physique Interdisciplinaire

Chimie analytique

Informatique pratique

Mots-clés :

Français :

Cycle cardiaque

Photo pléthysmographie

Oxymètre

Capteur optique

Spectrophotométrie

Anglais :

Cardiac cycle

Photo plethysmography

Oximeter

Optical sensor

Spectrophotometry

2. Bibliographie commentée :

Aujourd'hui, le cycle cardiaque est compris comme une succession coordonnée de phases de contraction (systole) et de relaxation (diastole) des quatre cavités du cœur (deux par ventricule). En effet c'est un muscle composé de deux ventricules : le droit qui envoie du sang au niveau des poumons pour qu'il s'oxygène, et le gauche qui envoie le sang oxygéné à tout l'organisme. Il est capable d'envoyer 5L de sang par minute au repos et 10 L de sang par minute à l'effort. De plus, au repos, le cœur bat environ 70 fois par minute, soit à

une fréquence de 70 bpm (battements par minute), et peut aller jusqu'à 220 bpm à l'effort [1].

Au fil du temps, différentes techniques ont été développées pour mesurer le cycle cardiaque. Les premières méthodes, comme le sphygmomanomètre, permettaient d'évaluer le rythme cardiaque de manière indirecte par la mesure de la pression artérielle [2]. Plus tard, apparaît l'électrocardiogramme (ECG), utilisé encore aujourd'hui comme méthode de référence en cardiologie. Introduit au début du XXe siècle, il a marqué un tournant en permettant une visualisation précise de l'activité électrique du cœur [3]. L'échocardiographie et le Doppler, développés dans les années 1950, ont quant à eux ouvert la voie à l'analyse dynamique des flux cardiaques grâce aux ultrasons. L'échocardiographie permet d'observer les mouvements du cœur tandis que l'effet Doppler permet de mesurer la vitesse du flux sanguin [4]. Plus récemment, les avancées en capteurs et miniaturisation ont permis l'émergence de techniques optiques comme la photopléthysmographie (PPG) et l'oxymètre de pouls.

Tout d'abord, le capteur PPG se place sur le poignet. Il s'agit d'une technique utilisée pour mesurer les variations du volume sanguin dans les vaisseaux. Le principe repose sur l'absorption de la lumière par l'hémoglobine contenue dans le sang. En effet, lorsqu'une source lumineuse (ici une LED verte de longueur d'onde 532 nm) éclaire la peau, une partie de cette lumière est absorbée par le sang, une autre est absorbée par les tissus et une autre est réfléchiée. Un capteur (souvent une photodiode) mesure cette lumière réfléchiée. Lorsque le cœur pompe le sang, la quantité de sang présente dans les capillaires varie à chaque battement, modifiant ainsi l'absorption lumineuse et donc le signal reçu par le capteur. Ce signal périodique est ensuite traité numériquement afin d'en extraire la fréquence cardiaque. [5]

L'oxymètre de pouls quant à lui se place au bout du doigt. Il évalue la saturation de l'hémoglobine en oxygène (SpO_2) grâce à la spectrophotométrie. La saturation est définie comme le rapport de la concentration sanguine en hémoglobine oxygénée (oxyhémoglobine) sur l'hémoglobine totale et s'exprime en pourcentage. Elle varie entre 94% et 100 % pour une personne saine. Afin de différencier l'oxyhémoglobine de l'hémoglobine réduite (désoxyhémoglobine), le capteur contient une source lumineuse composée de deux diodes, l'une émettant à 660 nm (rouge) et l'autre à 940 nm (infrarouge). L'oxyhémoglobine et la désoxyhémoglobine présentent des spectres d'absorption distincts à ces longueurs d'onde : dans le rouge, l'oxyhémoglobine absorbe moins que l'hémoglobine réduite et inversement dans l'infrarouge. Les deux faisceaux sont ensuite récupérés en sortie par une diode photosensible, l'absorbance globale est mesurée et la concentration en hémoglobine en est déduite avec la Loi de Beer-Lambert. [6]

Cette absorbance résulte de la structure chimique de l'hémoglobine, contenant des porphyrines, que l'on retrouve notamment dans la chlorophylle, molécule responsable de la couleur verte des plantes [7]. Il est donc possible modéliser le sang grâce à une solution de chlorophylle car elle présente des spectres d'absorption proches, avec notamment un fort pic dans le rouge autour de 660 nm.

Cependant, ces deux techniques de mesure sont particulièrement sensibles aux artefacts causés par la température, la sueur ou la couleur de la peau, qui peuvent fortement perturber le signal mesuré. Pour pallier ces difficultés, les montres connectées fabriquées par Apple, Garmin ou Coros, intègrent des algorithmes de filtrage permettant d'extraire une fréquence cardiaque fiable [8].

3. Problématique :

Quelle est le meilleur moyen d'obtenir efficacement la fréquence cardiaque d'un sportif au cours d'une compétition ?

4. Objectifs :

- Reproduction du principe de fonctionnement d'un capteur PPG d'une montre connectée (capteur photopléthysmographique)
- Reproduction du principe de fonctionnement d'un oxymètre de pouls
- Modélisation du sang humain
- Comparaison de la fiabilité des deux modèles

5. Références bibliographiques :

[1]	Jamy Gourmaud	Histoires de cœur - C'est pas sorcier	https://www.youtube.com/watch?v=s7SuTXiGupQ
[2]	Wood Library-Museum of Anesthesiology	Riva-Rocci Sphygmomanometer	https://www.woodlibrarymuseum.org/museum/riva-rocci-sphygmomanometer/
[3]	Grégoire Pommey	1887 : invention de l'électrocardiogramme	https://www.histoiredesinventions.com/invention-electrocardiogramme/

[4]	Inge Edler, Kjell Lindström	The history of echocardiography	Elsevier, 2004 DOI: 10.1016/S0301-5629(99)00056-3
[5]	John Allen	Photoplethysmography and its application in clinical physiological measurement	Institute of Physics Publishing, 2007, Volume 28, Number 3 ISSN: 1361-6579 DOI: 10.1088/0967-3334/28/3/R01
[6]	J. Pottecher, G. Bouzou	Monitorage de la saturation de pouls : intérêts et limites	Reanimation, 2003 Volume 12, Issue 1 (Pages 30-36)
[7]	Lavinia Florina Calinoiu	Fruit and vegetable waste and by-products for pigments and color	Fruit and Vegetable Waste Utilization and Sustainability, 2023, Pages 77-100, Chapter 4 ISBN: 978-0-323-91743-8
[8]	Coros	Comment les montres COROS mesurent la fréquence cardiaque ?	https://support.coros.com/hc/fr/articles/4406604073108

DOT

[Mars 2025 : modélisation de la fréquence cardiaque par un pendule simple et un système masse ressort afin d'obtenir une fréquence proche d'un rythme cardiaque au repos.]

[Avril 2025 : réflexion sur une expérience de simulation de la variation de volume sanguin mesurée.]

[Mai 2025 : expérience de simulation d'un capteur PPG avec un laser et un phototransistor avec un liquide rouge.]

[Juin 2025 : même expérience que la précédente avec un gel rouge afin de résoudre les problèmes rencontrés.]