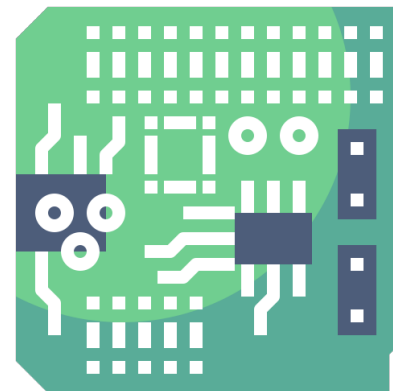
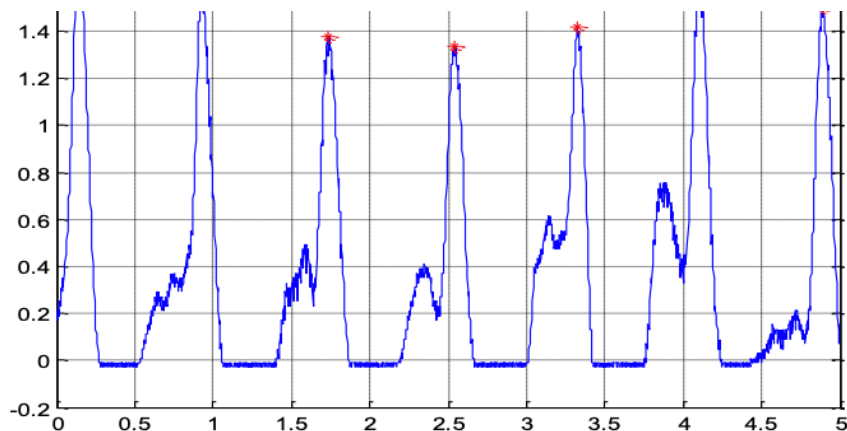
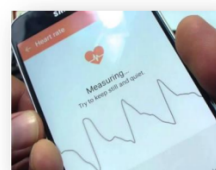


PCB



Acquisition sur le doigt

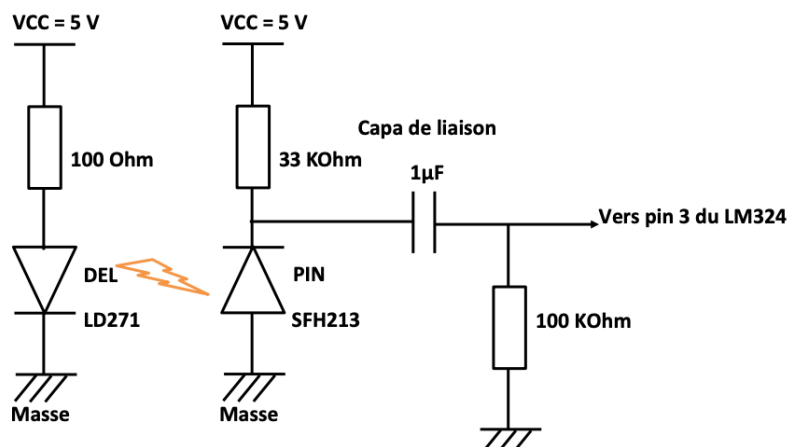


Visualisation sur Smartphone

# Ateliers - AT15 Oxymétrie

Alban FERRACANI, Awais CHAUDHRY, Marie ESTIVALS, Inès DJERIDI  
E1- 2020/2021

**ESIÉE**  
PARIS



## Table des matières :

|                                                                                                        |                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| <b><u>PERS – RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUES ET SYNTHESE SUR LE FONCTIONNEMENT DE L'OXYMETRE .....</u></b> | <b><u>3</u></b> |
| <b>PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE L'OXYMETRE : .....</b>                                                | <b>3</b>        |
| <b>PRINCIPE DE LA MESURE PHYSIQUE : .....</b>                                                          | <b>6</b>        |
| <b>PRINCIPE OPTIQUE DES TISSUS (DETAILS).....</b>                                                      | <b>8</b>        |
| Effets de réfraction : .....                                                                           | 8               |
| Effets de diffusion.....                                                                               | 9               |
| Effets d'absorption .....                                                                              | 10              |
| <b>PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT ELECTRONIQUE .....</b>                                                   | <b>11</b>       |
| <b>COMPLEMENTS SUR LA PHYSIOLOGIE CARDIO-RESPIRATOIRE .....</b>                                        | <b>12</b>       |
| <b>QUELQUES REFERENCES D'OXYMETRES COMMERCIAUX : .....</b>                                             | <b>14</b>       |
| <b>OXYMETRE DE POULS DIGITAL POUR LA MESURE DE LA SATURATION EN OXYGENE DANS LE SANG. ....</b>         | <b>14</b>       |

## Principe de fonctionnement de l'oxymètre :

L'oxymètre est un outil permettant de mesurer l'oxygénation du sang d'un individu.

Il peut être utilisé sur plusieurs parties du corps, généralement il est exploité au niveau de l'index car le sang est distribué par le cœur dans tout le corps et notamment jusqu'au bout des doigts.



Figure : mise en place d'un oxymètre de pouls au niveau de l'index

<https://urlz.fr/fNr2>

Le fonctionnement de l'oxymètre est basé sur l'hémoglobine qui est une protéine permettant la liaison entre l'oxygène et le sang. En effet le sang étant composé de 55% à 60% d'eau ce qui fait que l'oxygène est peu soluble dans ce dernier.

Il existe deux types d'hémoglobine :

- Hémoglobine oxygénée (HbO<sub>2</sub>) : absorbe essentiellement de la lumière IR.
- Hémoglobine désoxygénée (Hb) : absorbe essentiellement de la lumière rouge.

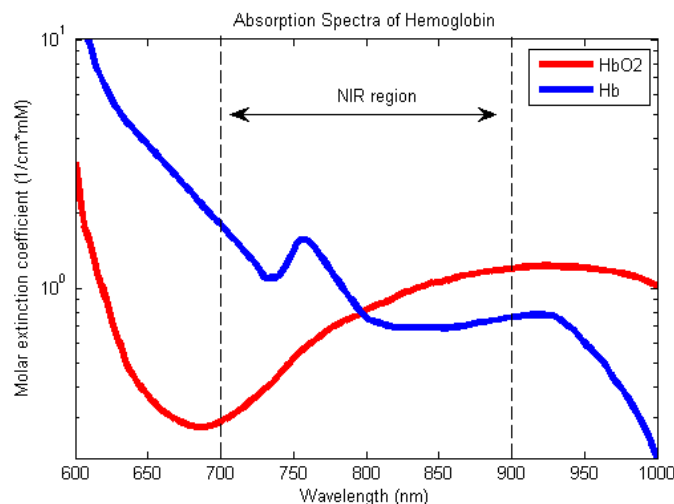


Figure : spectre d'absorption des deux types d'hémoglobines

<https://urlz.fr/fNqB>

Ainsi l'oxymètre est doté de deux voyants :

- Voyant infrarouge (invisible, 960 nm)
- Voyant rouge ( 660 nm )

Ces deux voyants vont émettre deux lumières mais dans des champs d'absorption différents.

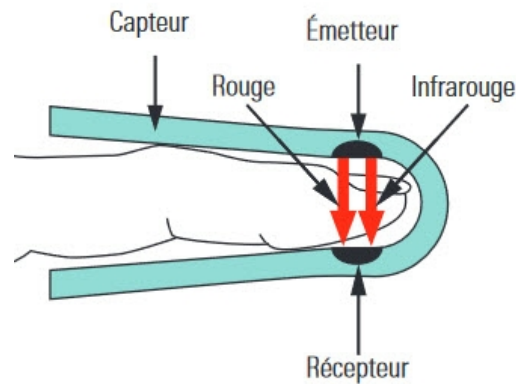


Figure : Oxymètre en transmission

<https://urlz.fr/fNr6>

<https://urlz.fr/fNr7>

L'appareil en mode transmission a un côté émetteur et un côté récepteur.

Les deux lumières vont traverser le doigt en passant notamment à travers la peau et les os car le doigt est irrigué en sang à chaque battement du cœur.

De l'autre côté le récepteur (avec une photodiode) va capter et amplifier la transparence de la lumière ce qui va nous permettre de calculer le taux de saturation artérielle en oxygène :

$$S_{aO_2} = \frac{HbO_2}{HbO_2 + Hb}$$

Cette transparence de lumière correspond à la lumière qui n'a pas été absorbée par le milieu traversé. Cette transparence nous donne des indications sur l'absorption des tissus et des os, du sang veineux ou encore sur l'absorption artérielle constante, cependant ici ce qui nous intéresse c'est la variation de l'absorption artérielle.

Cette variation étant très faible, elle va être amplifiée.

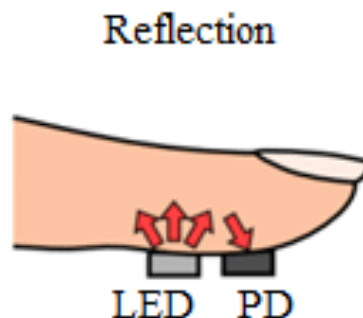


Figure : Oxymètre en réflexion

<https://urlz.fr/fNqI>

L'appareil lorsqu'il est en mode réflexion, son émetteur et son capteur se situent sur le même côté.

Les lumières envoyées vont traverser le doigt comme pour l'appareil en transmission mais vont être réceptionnées par le capteur du même côté.

Le capteur ( photo détecteur ) va récupérer le flux lumineux reflété par le milieu traversé. Ce flux lumineux sera plus faible car il aura fait un aller-retour ainsi il aura subi une double absorption. Il faudra donc une amplification plus importante pour pouvoir exploiter le taux de saturation artérielle en oxygène. La double absorption du flux lumineux permet d'améliorer la précision de la fréquence cardiaque, la lumière sera fortement absorbée par le sang et faiblement par les autres tissus ce qui va créer un contraste important. Néanmoins il a quelques avantages par rapport à l'oxymètre en transmission, en effet ce dernier dispose d'une résistance mécanique plus forte et également le fait qu'il est utilisable sur une surface de corps plus importante car une peau plus ou moins fine n'interfère pas dans l'utilisation de l'appareil à cause de son système qui repose sur le retour de la lumière rétrodiffusée à la surface de la peau.

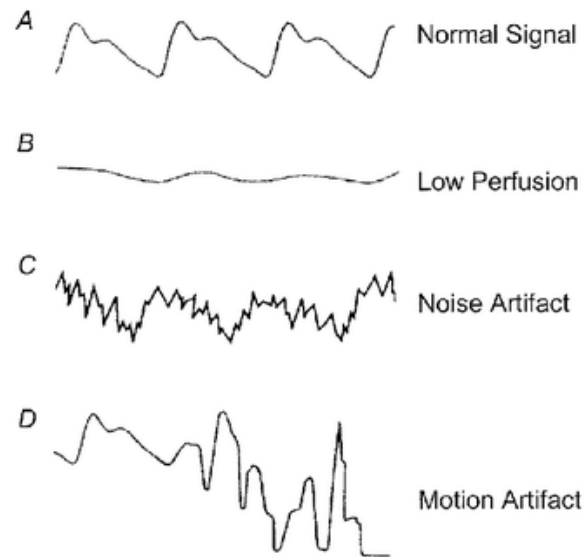


Figure : signaux des ondes des oxymètres de Pouls  
<https://urlz.fr/fNrA>

L'oxymètre peut également permettre la mesure du rythme cardiaque et cela par la mesure de la variation des différents flux de sang à l'extrémité du doigt.

Le signal peut être faussé par le mouvement du patient, mais également si ce dernier a du vernis au niveau de son doigt. Un patient peut avoir un bon taux d'oxygène dans le sang mais un débit sanguin médiocre peut fausser les résultats, si le patient a un taux élevé de monoxyde de carbone alors cela fausse également les résultats.

Nous avons notamment choisi de mettre l'oxymètre au niveau du bout du doigt pour des questions de transparence, en effet l'extrémité du doigt la peau est plus fine et ainsi nous obtenons un coefficient de saturation plus exploitable. Ce principe de transparence a été établi par la loi de Beer-Lambert.

## Principe de la mesure physique :

Le principe du fonctionnement de l'oxymètre repose sur le phénomène physique de l'absorption et de la réflexion de la lumière.

Ce phénomène est régi par la loi de Beer Lambert qui est une relation empirique reliant l'absorption du rayonnement aux propriétés des milieux qu'elle traverse.

$$I(x) = I_0 \times \exp(-C \cdot \sigma \cdot x)$$

Avec :

- C le nombre de particules par unité de volume
- $\sigma$  la section efficace d'absorption (surface effective d'interaction entre l'onde et la particule).

On pourrait également écrire la loi comme ceci :

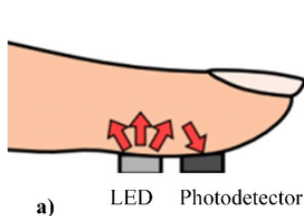
$$I(x) = I_0 \times \exp(-\alpha \cdot x)$$

Avec :

- $\alpha$  le coefficient d'absorption des tissus du doigt
- $x$  l'épaisseur du tissu parcouru par la lumière
- $I$  l'intensité du faisceau sortant des tissus du doigt
- $I_0$  l'intensité du faisceau entrant dans les tissus du doigt

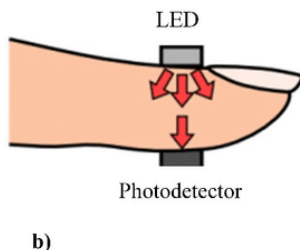
On peut conclure de cette loi qu'à coefficient d'absorption  $\alpha$  supposé constant, plus l'épaisseur du doigt sera grande, plus l'intensité du faisceau lumineux en sortie des tissus du doigt ( $I$ ) sera faible.

Notons également que cette formule est exacte dans le cas où la diode émettrice et la photorésistance réceptrice sont placées respectivement d'un côté et de l'autre du doigt, donc en transmission.



Légende :

- a) Principe de fonctionnement de l'oxymètre en réflexion
- b) Principe de fonctionnement de l'oxymètre en transmission



Néanmoins, notre système sera non pas en transmission mais en réflexion (cas [a] sur la figure ci-dessus). Le principe reste le même mais l'intensité du faisceau sortant des tissus du doigt ne sera pas la même qu'en transmission.

Le signal quant à lui restera identique (période pic à pic) mais aura une amplitude plus ou moins élevée. Comme ce que nous cherchons à mesurer est la période entre deux pics afin d'en déduire la fréquence cardiaque, cette différence entre la transmission et à la réflexion n'est pas à prendre en compte.



Pour calculer le flux lumineux réfléchi le plus précisément possible, il faudrait séparer la formule de Beer Lambert en plusieurs parties, car le tissu est considéré comme un milieu global composé de milieux à  $k$  couches. Chaque milieu ayant des propriétés physiques différentes (absorption, épaisseur, coefficient de diffusion, indice de réfraction).

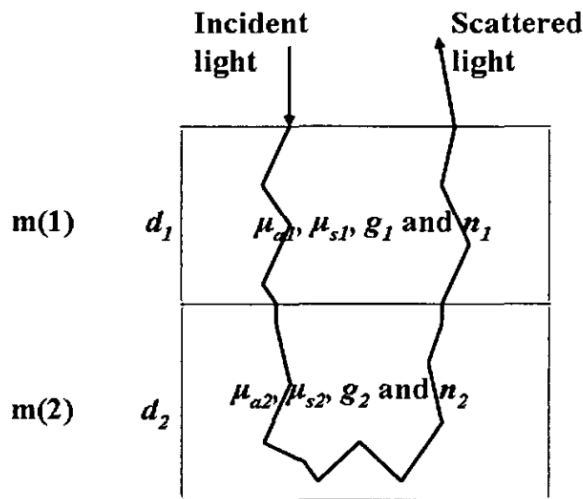


Figure 3.7 A diagram of a two-layered tissue  $M=\{m(1), m(2)\}$ .

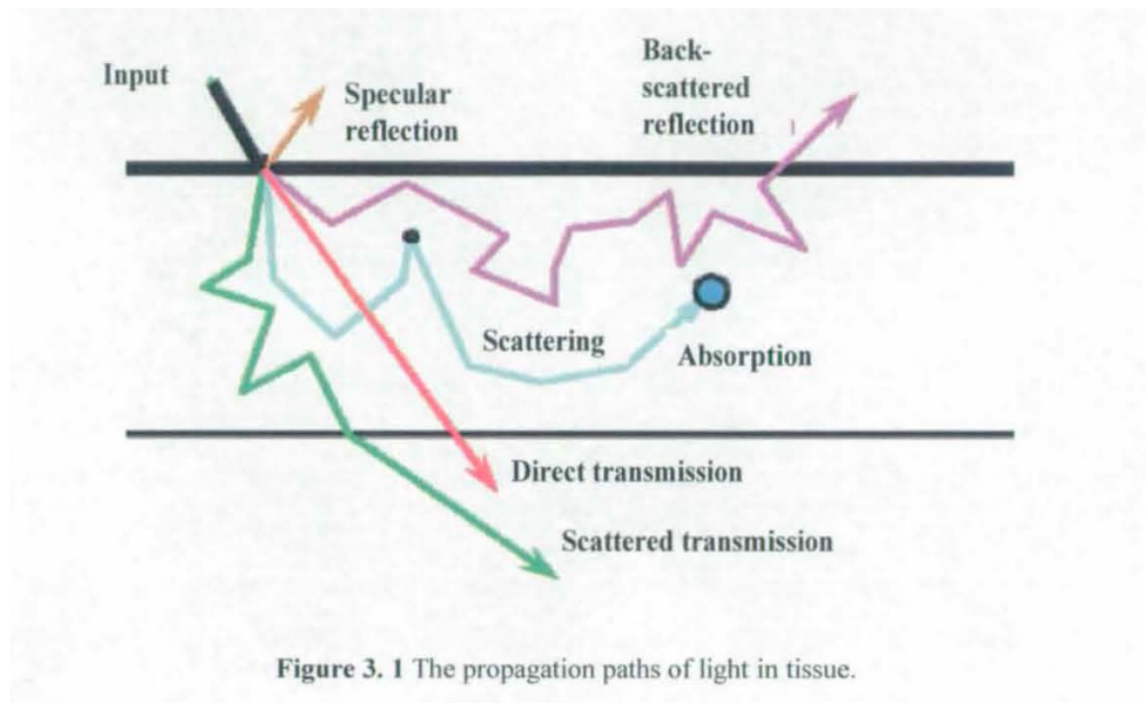
Sur la figure ci-contre, on peut considérer un schéma d'un tissu à deux couches, qui ont chacune des propriétés physiques différentes.

Aussi, même si l'on parle dans notre configuration d'une configuration en réflexion, il ne faut pas négliger le fait que tous les rayons incidents ( $I_o$ ) ne sont pas réfléchis :

- Une partie est absorbée. Celle-ci est

donnée par le coefficient d'absorption  $\alpha$  ou  $C \cdot \sigma$ .

- Une autre partie est transmise soit par transmission directe ou diffusée.
- La partie restante est réfléchi et est captée par la photodiode.



La figure 3.1 ci-dessus illustre les différents trajets que les faisceaux lumineux peuvent emprunter. Aussi, la propagation optique dans les tissus est régie conjointement par les propriétés d'absorption et de diffusion de ces derniers.

La section suivante passe en revue certaines propriétés optiques clés qui régissent le comportement de la lumière se propageant à travers un milieu optiquement dense tel que la peau humaine.

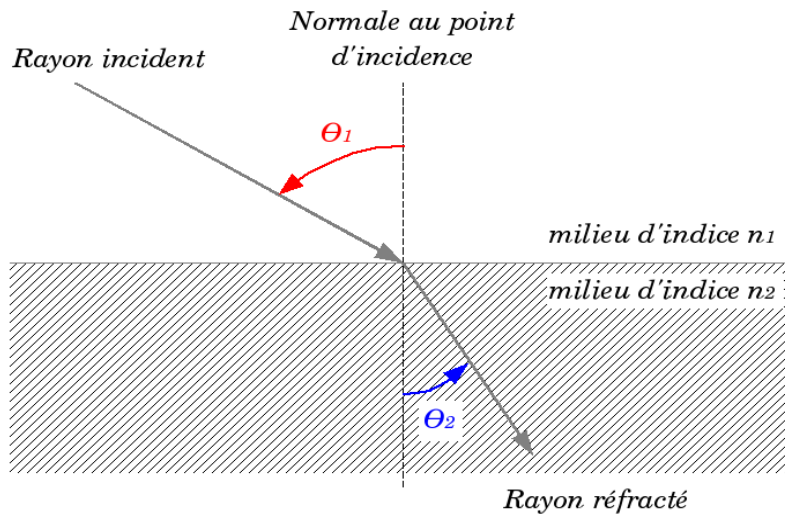
## **Principe optique des tissus (détails)**

Effets de réfraction : La réfraction se produit dans tous les cas où la lumière qui se propage rencontre un changement d'indice de réfraction  $n$ , comme le montre la figure 3.2.

Les frontières macroscopiques non concordantes, telles que celles entre les couches de tissus, sont l'un des effets de surface les plus importants.

On peut citer les lois de Snell Descartes qui permettent de rendre compte quantitativement le phénomène de réfraction :

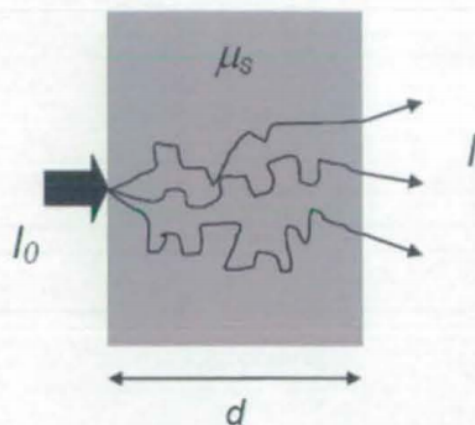
$$n_1 \sin(\theta_1) = n_2 \sin(\theta_2).$$



C'est exactement l'un des phénomènes qui a lieu dans les couches de tissus. Comme nous l'avons dit précédemment, le doigt ou toute autre partie du corps est composé de différentes couches de tissus, avec des indices de réfraction différents qui conduisent à une déviation des rayons lumineux.

Effets de diffusion : Les déséquilibres d'indice de réfraction au sein des tissus existent également à l'échelle microscopique, où vaisseaux sanguins, fibres de collagène, membranes cellulaires et organelles, etc. soumettent la lumière à des effets de réfraction. Cette réfraction microscopique est appelée diffusion, dont l'efficacité est décrite à l'aide de coefficients de diffusion.

Le symbole du coefficient de diffusion est usuellement  $D$ , et son unité est le mètre carré par seconde ( $m^2 \cdot s^{-1}$ ).



**Figure 3. 3** Scattering of light through a scattering medium, where  $I$  is the intensity of the scattered transmitted light,  $I_0$  is the incident light intensity, and  $\mu_s$  is the scattering coefficient of the homogenous medium of thickness  $d$ .

L'effet de diffusion est déterminé par la structure du tissu. Le tissu s'étend des membranes aux fibres de collagène, aux noyaux et aux cellules. La lumière est plus fortement diffusée par ceux dont la taille correspond à la longueur d'onde de la lumière.

Effets d'absorption : L'absorption est un effet qui s'explique à l'échelle atomique par la conversion de photons en énergie thermique lors de leur collision avec des atomes. Cet effet est le plus susceptible de se produire lorsque l'énergie d'un photon (déterminée par sa fréquence) coïncide avec l'un des états excités de l'atome avec lequel il entre en collision. Sa relation directe à la transmission effective de la lumière à travers un milieu en constitue le phénomène principal à prendre en compte dans la conception de l'oxymètre de pouls.

Dans les tissus humains, les principaux absorbeurs de lumière dans le domaine spectral du proche infrarouge sont l'hémoglobine oxygénée et désoxygénée.

#### Sources de la partie :

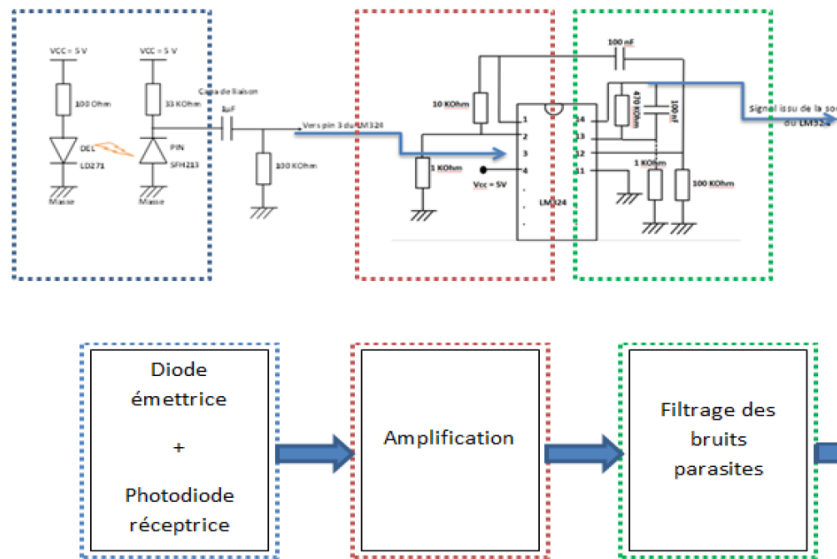
Recherche (anglais) : OPTO-PHYSIOLOGICAL MODELLING OF IMAGING PHOTOPLETHYSMOGRAPHY BY JIAZHENG, Jan 2010, Loughborough University.

Disponible au téléchargement (scan de la recherche) :

<https://core.ac.uk/download/pdf/288360165.pdf>

Images : <https://urlz.fr/fNqF>  
<https://urlz.fr/fNqH>  
<https://urlz.fr/fNqK>  
<https://urlz.fr/fNqI>

# Principe de fonctionnement électronique



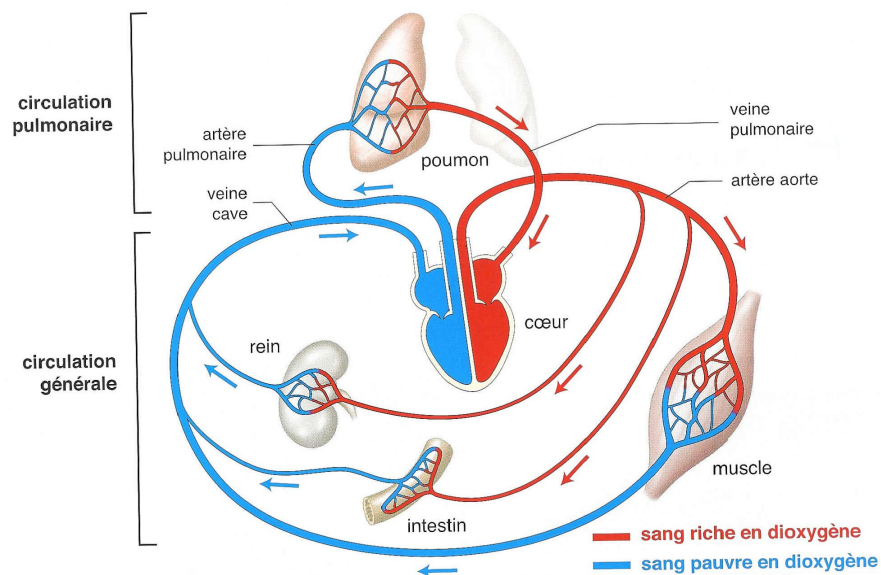
Le principe de fonctionnement électronique de l'oxymètre se décompose en trois grandes parties :

- 1) Acquisition : collection des données émises par la diode via le capteur photodiode.  
Il existe deux types d'oxymètres, l'un est en transmission et l'autre en réflexion. C'est ce dernier que nous utiliserons pour la mesure de nos données.
- 2) Amplification : augmentation de l'amplitude de la tension de sortie aux bornes de la photodiode. Afin d'amplifier le signal, nous utiliserons un amplificateur opérationnel.
- 3) Filtrage : clarification du signal en vue de son exploitation afin d'éliminer les bruits parasites liés aux perturbations. Pour cela, un filtre passe bas sera utilisé pour épurer le signal en ne gardant que les basses fréquences (comprises entre 1 et 3 Hz environ car le cœur bat au repos à 1 battement par seconde et au maximum à 220 battements par seconde en activité).

Aussi, deux parties complémentaires viennent agrémenter l'utilisation de l'oxymètre :

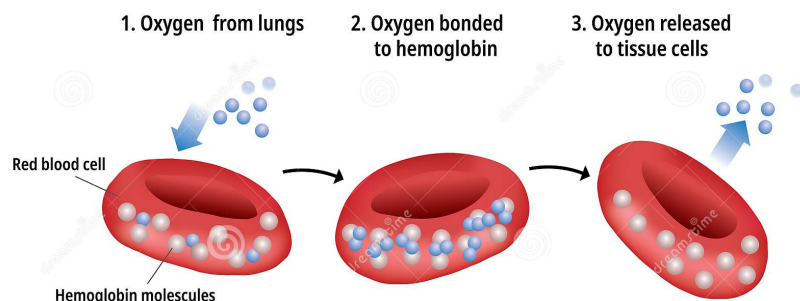
- 4) L'acquisition du signal de sortie analogique et son traitement par le biais d'un microprocesseur (traitement numérique du signal) afin de calculer la fréquence cardiaque. Pour cela, comme nous l'avons détaillé précédemment, on calcule la période entre deux pics afin d'en déduire la fréquence cardiaque.
- 5) La communication des données collectées à l'utilisateur via une interface telle qu'une application mobile ou éventuellement d'un écran.  
L'utilisation d'un Arduino pour le traitement du signal à la sortie de l'AO permettra de combiner ces deux types d'affichages (sur MIT App Inventor et sur écran OLED).

## Compléments sur la physiologie cardio-respiratoire



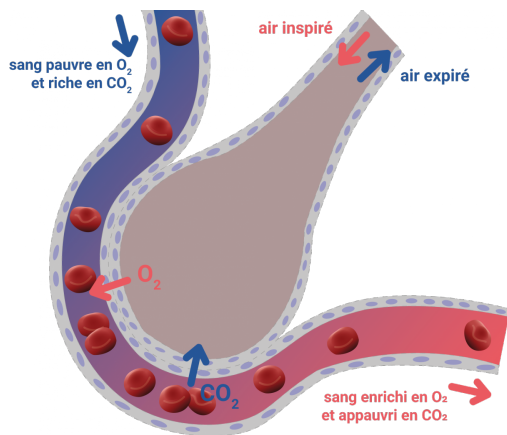
L'appareil cardio-respiratoire permet d'échanger l'oxygène et le CO<sub>2</sub> entre l'air et les cellules de plusieurs organes du corps humain. Cette livraison d'oxygène est vitale pour l'Homme d'autant plus que les cellules meurent sans oxygène. Elle est effectuée grâce à l'hémoglobine contenue dans les globules rouges qui est dite "saturée en oxygène" lorsqu'elle transporte de l'oxygène.

### Oxygen Hemoglobin dissociation curve



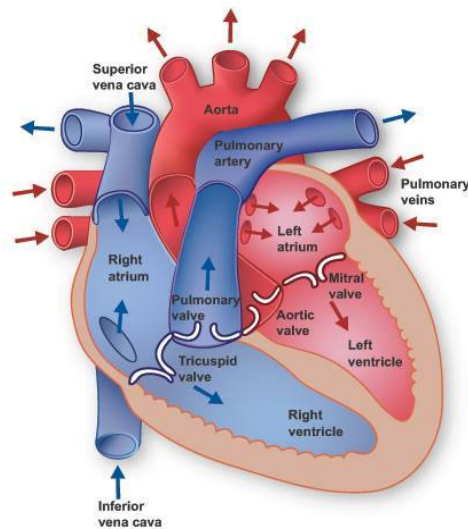
Comme l'indique son nom, il est composé de 2 appareils principaux :

- L'appareil respiratoire est composé de l'ensemble des organes permettant d'amener le dioxygène aux cellules du corps humain et de rejeter le dioxyde de carbone produit pendant la respiration cellulaire. Les organes principaux qui entrent en jeu sont les poumons, qui sont très vascularisés dans le but d'avoir une plus grande surface d'échange avec le sang grâce aux alvéoles pulmonaires.



Alvéole pulmonaire

- L'appareil cardiovasculaire est un système circulatoire qui permet d'amener le sang du cœur vers tous les organes du corps et vice-versa grâce à la pompe cardiaque.



Il est constitué du système vasculaire ( cœur et vaisseaux sanguins ) et du système lymphatique. Ce mécanisme permet l'acheminement de certaines substances dont le dioxygène, qui passe dans le sang au niveau des alvéoles pulmonaires vers les cellules de l'organisme, et assure également la collecte des déchets métaboliques des cellules dont fait partie le dioxyde de carbone qui est transféré au sang avant d'arriver au poumons qui vont le rejeter.

Dans le sang artériel, là où le sang circule du cœur vers l'organisme, 98% de l'hémoglobine est saturée en oxygène et le sang est riche en oxygène et pauvre en dioxyde de carbone. Tandis que 75% de l'hémoglobine est saturée dans le sang veineux, qui fait le chemin retour et qui est appauvri en oxygène et enrichi en dioxyde de carbone.

Le taux de saturation artérielle en oxygène se décompose en deux parties :

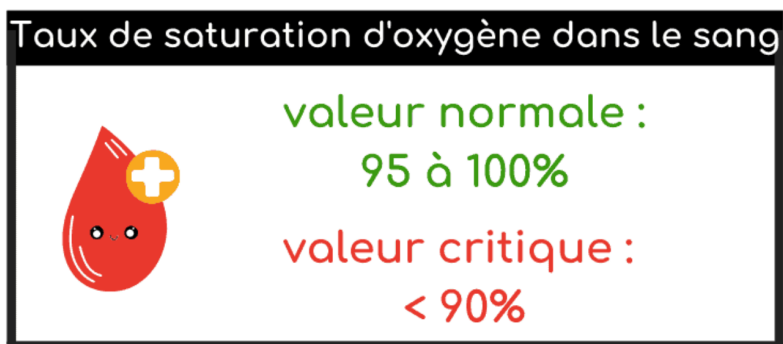


Figure : taux de saturation d'oxygène dans le sang

<https://www.medisafe.fr/blog/comment-fonctionne-un-oxymetre-de-pouls/>

### Quelques références d'oxymètres commerciaux :

|   | Image                                                                               | Nom                                                                                                  | Caractéristiques                                                                                                                                       |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 |   | BEURER PO 30 :<br>Oxymètre de pouls digital pour la mesure de la saturation en oxygène dans le sang. | <ul style="list-style-type: none"><li>• Mesure de la SpO2</li><li>• Mesure du pouls</li></ul>                                                          |
| 2 |  | HYLOGY OXYMETRE :<br>Oxymètre de pouls électronique numérique.                                       | <ul style="list-style-type: none"><li>• Moniteur de fréquence cardiaque</li><li>• Capteur d'oxygène</li><li>• Ecran LED</li></ul>                      |
| 3 |  | IDOIT OXYMETRE :<br>Oxymètre de doigt ou saturomètre pour calculer SpO2, PR et PI.                   | <ul style="list-style-type: none"><li>• Moniteur de fréquence cardiaque</li><li>• Ecran LED d'alarme</li><li>• Précision de la SpO2 : +/- 2%</li></ul> |

|   |                                                                                   |                 |                                                                                                                                                       |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4 |  | KKMIER OXYMETRE | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Moniteur de fréquence cardiaque</li> <li>● Capteur d'oxygène</li> <li>● Précision : +/- 2% (SpO2)</li> </ul> |
| 5 |  | SIMBR OXYMETRE  | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Précision : +/- 2% (SpO2)</li> <li>● Affichage LCD</li> </ul>                                                |

*SpO2 : taux d'oxygène dans le sang.*

*PR : fréquences du pouls = mesure de la fréquence cardiaque.*

*PI : indice de perfusion.*