

Sphygmo-oxymètre

Version 3 : modifiée en décembre 2017

(** Demandez l'aide de l'assistant en cas de doute)

1 Introduction

L'oxymétrie est un terme général référant à la mesure, généralement optique, de la saturation sanguine de l'oxyhémoglobine. Plusieurs méthodes existent pour effectuer cette mesure. Cependant, la plupart des méthodes chimiques et optiques non pulsatives sont généralement longues et invasives. L'idée d'utiliser la nature pulsée du sang artériel remonte à 1987 et elle est attribuée à un Japonais, Takuo Aoyagi. Parce qu'elle permet de s'affranchir de la majorité des problèmes qui existaient alors en oxymétrie, cette technologie est maintenant utilisée de manière extensive dans tous les hôpitaux et centres de santé. Comme ses composantes sont relativement économiques, on verra de plus en plus les sphygmo-oxymètres apparaître dans les foyers.

Tout au long de cette expérience, et entre les séances, il est fortement conseillé de consulter le livre de référence [Webster(1997)]. Il détaille toutes les parties de l'expérience hormis la programmation graphique avec Labview. On y trouve à la fois une description médicale, physique, optique et électronique du problème.

2 Objectifs

Introduire l'étudiant à

- L'oxymétrie à pulsations
- La théorie de propagation lumineuse dans les tissus
- L'électronique d'acquisition et de génération de signaux
- L'analyse de signaux

3 Matériel

- Une sonde SpO_2 de Nellcor (CST060-3120)
- Un module d'acquisition PCIe-6251 de National Instrument
- 2 plaquettes électroniques pour montage sans soudure (breadboard)
- Différentes composantes électroniques telles que
 - Amplificateur opérationnel de précision (OP27)
 - Source de tension
 - Résistances
 - Diodes électroluminescentes
 - Transistors (2N3904)

4 Principes

4.1 Fonctionnement du sphygmo-oxymètre

Le sphygmo-oxymètre, ou saturomètre, est un appareil relativement simple. D'un côté se trouvent deux diodes électroluminescentes : une émettant dans le rouge et l'autre dans l'infrarouge. De l'autre côté, il y a une photodiode pour détecter la lumière qui est transmise. À chaque battement de cœur, les vaisseaux sanguins se gorgent de sang, puis se dégonflent au rythme de la pulsation cardiaque. Cela modifie le chemin optique d et par le fait même, l'intensité lumineuse détectée à la photodiode.

On considère que les deux principaux atténuateurs du sang artériel sont l'hémoglobine et l'oxyhémoglobine. Comme l'illustre la figure 1, le coefficient d'extinction de ces deux molécules varie différemment en fonction de la longueur d'onde. Cependant, il n'y a pas que le sang artériel qui

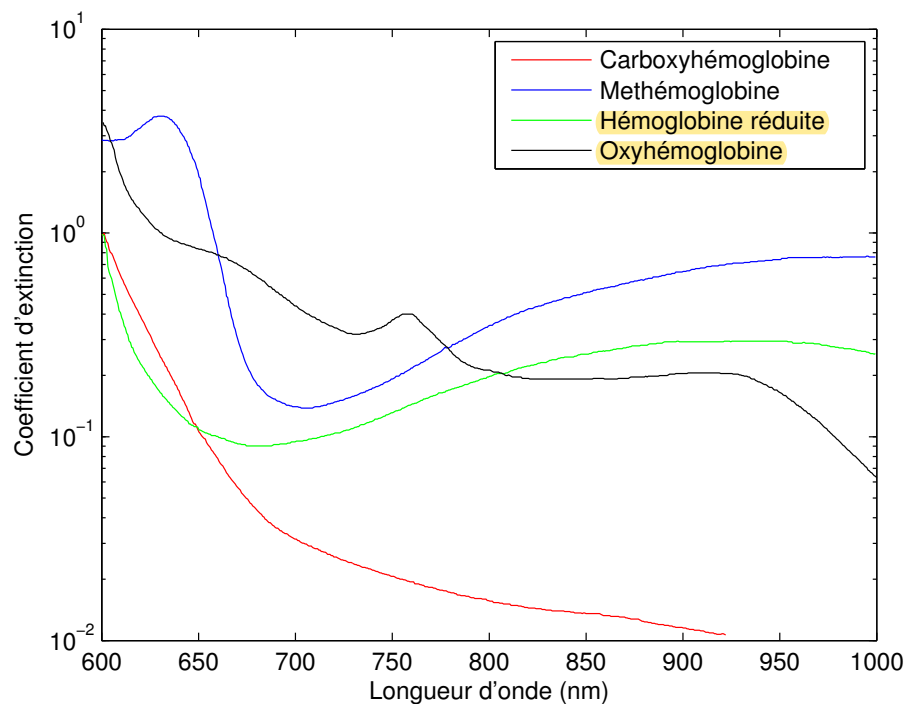


FIGURE 1 – Spectre des composantes sanguines

atténue la lumière avant sa détection à la photodiode. On retrouve, en outre, l'eau, le sang veineux, la pigmentation des tissus, etc. Ainsi, l'intensité lumineuse sera atténuée d'une composante constante causée par ces diverses absorptions et d'une composante oscillante avec la pulsation cardiaque. On représente l'absorption constante par une distance optique fixe, et l'absorption suivant les pulsations cardiaques par une distance optique variable oscillant entre d_{\min} et d_{\max} . En bref, grâce aux battements de cœur, il est possible de discriminer le sang artériel des autres composantes atténuantes, et grâce aux deux longueurs d'onde, il est possible de discriminer l'hémoglobine de l'oxyhémoglobine. Nous verrons dans la section théorie comment extraire le rapport R avec lequel nous pourrions trouver la saturation d'oxygène SpO_2 .

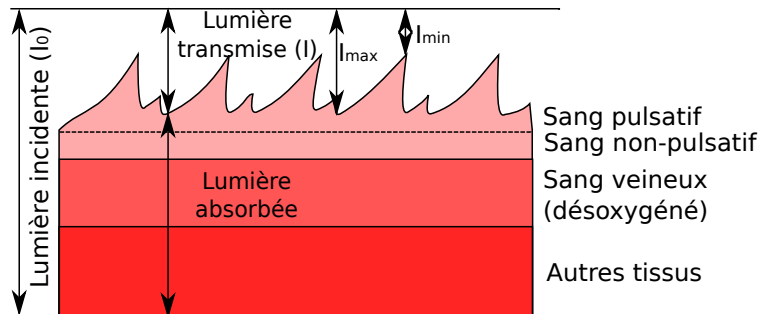


FIGURE 2 – Signal transmis et absorbé, incluant absorption due au sang artériel pulsé, non pulsé, et l'absorption due aux autres tissus

4.2 La loi de Beer

La loi de Beer, aussi connue sous le nom de Beer-Lambert, décrit l'atténuation d'un signal lumineux traversant un milieu homogène tel que,

$$I(d) = I_0 e^{-\epsilon(\lambda)cd} \quad (1)$$

où I_0 est l'intensité lumineuse incidente, ϵ est le coefficient d'extinction qui dépend de la longueur d'onde λ , c la concentration d'absorbant dans le milieu et d la longueur du chemin optique. S'il y a plusieurs absorbants, on peut représenter l'exposant comme ceci,

$$\epsilon(\lambda)cd = \sum \epsilon_i(\lambda)c_i d_i \quad (2)$$

Notez que la longueur des chemins optiques varie selon l'absorbant, car l'indice de réfraction de celui-ci peut être différent.

4.3 Questions

Avant de lire la section théorie, faites les exercices suivants. À partir de l'équation (1), tenter de modéliser les quatre variables qui seront mesurées dans l'expérience, soit : $I_{\max,R}$, $I_{\max,IR}$, $I_{\min,R}$, $I_{\min,IR}$. Elles représentent les maximums et minimums d'intensités lumineuses détectées dans le rouge et l'infrarouge. Vous devez considérer trois composantes absorbantes : l'hémoglobine (Hb) et l'oxyhémoglobine (HbO_2) qui oscilleront avec la pulsation cardiaque et une composante constante (cte) due à l'absorption dans les autres tissus. De plus, considérez que les concentrations c ne

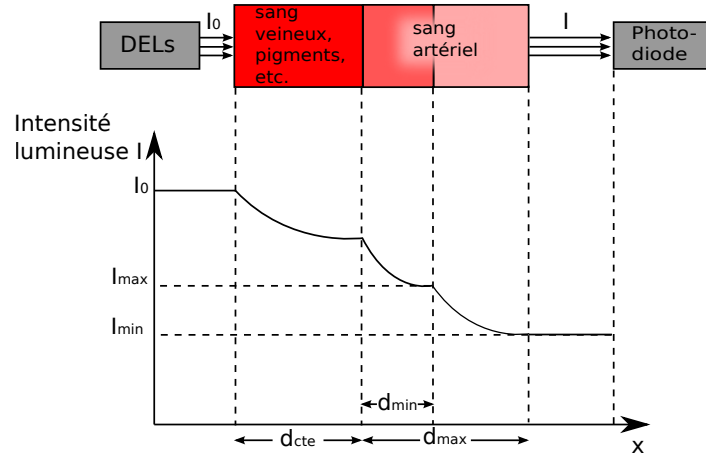


FIGURE 3 – Décroissance exponentielle par diverses composantes selon la loi de Beer en oxymétrie

changent pas et que la longueur du chemin optique d oscille entre d_{\min} et d_{\max} à cause du changement de volume lors d'une pulsation cardiaque.

Insérez les quatre expressions obtenues pour I dans l'équation suivante.

$$R = \frac{\ln(I_{\min,R}/I_{\max,R})}{\ln(I_{\min,IR}/I_{\max,IR})} \quad (3)$$

Vous devriez obtenir le rapport R suivant.

$$R = \frac{\epsilon_{\text{Hb}}(\lambda_R)c_{\text{Hb}} + \epsilon_{\text{HbO}_2}(\lambda_R)c_{\text{HbO}_2}}{\epsilon_{\text{Hb}}(\lambda_{IR})c_{\text{Hb}} + \epsilon_{\text{HbO}_2}(\lambda_{IR})c_{\text{HbO}_2}} \quad (4)$$

Ensuite, déterminer l'expression théorique de la saturation d'oxygène SpO_2 en fonction du R mesuré et des coefficients d'extinctions $\epsilon_{\text{Hb}}(\lambda_R)$, $\epsilon_{\text{HbO}_2}(\lambda_R)$, $\epsilon_{\text{Hb}}(\lambda_{IR})$, $\epsilon_{\text{HbO}_2}(\lambda_{IR})$ ¹, sachant que la définition de la saturation d'oxygène est

$$SpO_2 = \frac{c_{\text{HbO}_2}}{c_{\text{Hb}} + c_{\text{HbO}_2}} \quad (5)$$

Selon vous, qu'arriverait-il s'il y avait d'autres composantes absorbantes hormis l'hémoglobine et l'oxyhémoglobine ?

1. $\epsilon_{\text{Hb}}(\lambda_R)$ est le coefficient d'extinction pour l'hémoglobine dans le rouge
 $\epsilon_{\text{HbO}_2}(\lambda_R)$ est le coefficient d'extinction pour l'oxyhémoglobine dans le rouge
 $\epsilon_{\text{Hb}}(\lambda_{IR})$ est le coefficient d'extinction pour l'hémoglobine dans l'infrarouge
 $\epsilon_{\text{HbO}_2}(\lambda_{IR})$ est le coefficient d'extinction pour l'oxyhémoglobine dans l'infrarouge

5 Théorie

5.1 L'intensité lumineuse dans le cycle cardiaque

On sait que le maximum d'intensité lumineuse I_{\max} se produit lorsqu'on se trouve au minimum de pression sanguine dans le cycle cardiaque et vice-versa pour le minimum I_{\min} . Donc,

$$I_{\max} = I_0 e^{-\epsilon_{\text{cte}}(\lambda) c_{\text{cte}} d_{\text{cte}}} e^{-[\epsilon_{\text{Hb}}(\lambda) c_{\text{Hb}} + \epsilon_{\text{HbO}_2}(\lambda) c_{\text{HbO}_2}] d_{\min}} \quad (6)$$

et

$$I_{\min} = I_0 e^{-\epsilon_{\text{cte}}(\lambda) c_{\text{cte}} d_{\text{cte}}} e^{-[\epsilon_{\text{Hb}}(\lambda) c_{\text{Hb}} + \epsilon_{\text{HbO}_2}(\lambda) c_{\text{HbO}_2}] d_{\max}} \quad (7)$$

Puisqu'on sait que d varie entre d_{\min} et d_{\max} dans le temps, il suffit de substituer d_{\max} par $d_{\min} + \Delta d(t)$ pour obtenir l'expression suivante pour l'intensité lumineuse détectée en fonction du temps $I(t)$,

$$I(t) = I_{\max} e^{-[\epsilon_{\text{Hb}}(\lambda) c_{\text{Hb}} + \epsilon_{\text{HbO}_2}(\lambda) c_{\text{HbO}_2}] \Delta d(t)} \quad (8)$$

5.2 Saturation d'oxyhémoglobine

La saturation d'oxyhémoglobine s'écrit SaO_2 . Cependant, en oxymétrie à pulsation, on la désigne par SpO_2 pour indiquer qu'il s'agit d'une mesure faite par un appareil comportant certaines limites et ne mesurant pas directement l'oxygène. On définit SpO_2 comme la fraction d'oxyhémoglobine sur l'hémoglobine totale. On utilise aussi le rapport de ces concentrations qui est le même.

$$SpO_2 = \frac{c_{\text{HbO}_2}}{c_{\text{Hb}} + c_{\text{HbO}_2}} \quad (9)$$

Cela nous permet d'isoler les deux relations suivantes qui nous seront utiles.

$$c_{\text{HbO}_2} = SpO_2 (c_{\text{HbO}_2} + c_{\text{Hb}}) \quad (10)$$

$$c_{\text{Hb}} = (1 - SpO_2) (c_{\text{HbO}_2} + c_{\text{Hb}}) \quad (11)$$

5.3 R Le rapport des rapports

On appelle R le rapport des atténuateurs ou rapport des rapports. C'est cette variable qui nous permet de déterminer la saturation d'oxygène à partir des mesures des minima et maxima pour le rouge et l'infrarouge.

$$R = \frac{\ln(I_{\min,R}/I_{\max,R})}{\ln(I_{\min,IR}/I_{\max,IR})} \quad (12)$$

En remplaçant par les expressions connues de I_{\max} et I_{\min} , respectivement (6) et (7), nous obtenons,

$$R = \frac{\epsilon_{\text{Hb}}(\lambda_R)c_{\text{Hb}} + \epsilon_{\text{HbO}_2}(\lambda_R)c_{\text{HbO}_2}}{\epsilon_{\text{Hb}}(\lambda_{\text{IR}})c_{\text{Hb}} + \epsilon_{\text{HbO}_2}(\lambda_{\text{IR}})c_{\text{HbO}_2}} \quad (13)$$

On introduit les expressions des concentrations en fonction de SpO_2 provenant des équations (10) et (11) pour obtenir,

$$R = \frac{\epsilon_{\text{Hb}}(\lambda_R) + [\epsilon_{\text{HbO}_2}(\lambda_R) - \epsilon_{\text{Hb}}(\lambda_R)]SpO_2}{\epsilon_{\text{Hb}}(\lambda_{\text{IR}}) + [\epsilon_{\text{HbO}_2}(\lambda_{\text{IR}}) - \epsilon_{\text{Hb}}(\lambda_{\text{IR}})]SpO_2} \quad (14)$$

Finalement, il est possible d'inverser cette équation pour obtenir le modèle théorique de $SpO_2(R)$,

$$SpO_2 = \frac{\epsilon_{\text{Hb}}(\lambda_R) - \epsilon_{\text{Hb}}(\lambda_{\text{IR}})R}{\epsilon_{\text{Hb}}(\lambda_R) - \epsilon_{\text{HbO}_2}(\lambda_R) + [\epsilon_{\text{HbO}_2}(\lambda_{\text{IR}}) - \epsilon_{\text{Hb}}(\lambda_{\text{IR}})]R} \quad (15)$$

De plus, les valeurs des différents coefficients d'extinction ϵ sont bien connues dans la littérature scientifique. Les voici :

	λ (nm)	ϵ_{Hb} (mM ⁻¹ cm ⁻¹)	ϵ_{HbO_2} (mM ⁻¹ cm ⁻¹)
λ_R	660	0.81	0.08
λ_{IR}	940	0.18	0.29

6 Montage

Le montage d'oxymétrie que vous utiliserez est composé d'une sonde, d'un circuit d'illumination, un circuit de détection et d'un bloc d'acquisition. Les données sont automatiquement traitées à l'aide d'une interface graphique Labview. Le circuit final est disponible à la figure 4.

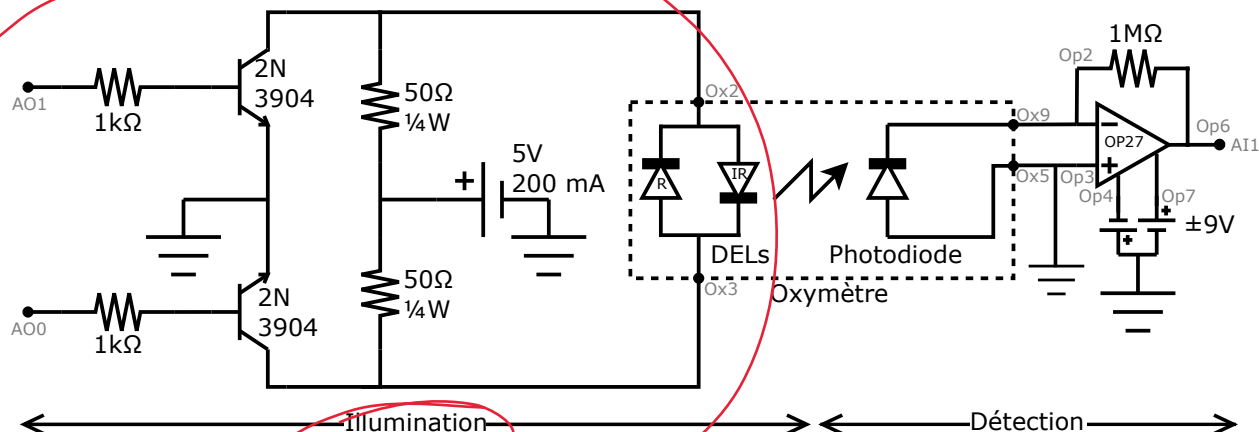


FIGURE 4 – Schéma du montage - Circuit

7 Manipulations : première séance

L'objectif des manipulations est de faire clignoter en alternance deux DELs, une rouge et une infrarouge, tout en contrôlant leur intensité et en même temps, acquérir le signal provenant de la photodiode. Les diodes électroluminescentes se trouvent à l'intérieur de la sonde du côté de l'ongle. Une photodiode se trouvant de l'autre côté du doigt détecte l'intensité lumineuse qui traverse celui-ci. Les DELs sont branchées ensemble en polarisation inverse sur les broches 2 et 3 du connecteur de la sonde. Les broches sont identifiées par Ox2 et Ox3 sur le circuit de la figure 4. Vous devrez construire ce circuit plus tard. Notez que ces DELs sont plus efficaces lorsqu'on les fait clignoter rapidement et qu'on les fait travailler seulement le tiers du temps².

7.1 Précautions

Au cours de ce laboratoire, il vous sera demandé de monter ou modifier un circuit électronique. Assurez-vous qu'un auxiliaire puisse vérifier vos modifications avant de brancher la sonde pour éviter de l'endommager.

². Ce qu'on appelle un cycle de service de 33%



FIGURE 5 – Schéma du montage - Sonde

7.2 Présentation de l'interface de l'utilisateur

Durant le laboratoire, vous travaillerez avec le programme d'acquisition nommé "oxymètre" sur le bureau (voir figure 6). Ce programme contient 2 graphiques qui vous permettront d'enregistrer le signal détecté durant l'illumination créée par les deux DELs. En haut du graphique rouge, vous trouverez un onglet vous permettant de choisir le mode d'acquisition (nous y reviendrons plus loin). En bas à gauche, vous avez deux variables dont vous avez le contrôle. Vous aurez à déterminer vous-mêmes la valeur de la calibration durant le laboratoire. La valeur de la constante nommée "maximum" correspond au nombre de points utilisés lorsque le programme détermine les extremums locaux. Vous aurez à changer la valeur de cette constante seulement si le programme n'arrive pas à trouver les bons extrémums. Normalement, vous n'aurez donc pas à modifier cette valeur. Les valeurs du SpO_2 et du pouls sont affichées en dessous de ces constantes. Vous pourrez ajuster le voltage appliqué aux DELs grâce aux deux onglets bleus en bas des graphiques. Lorsque vous appuyez sur le bouton "save" vous devrez choisir un nom de base, deux fichiers contenant les données affichées sur les graphiques seront alors enregistrés :

1. "nomdebase"Voltage.txt : Ce fichier contient 3 colonnes. La première colonne contient le temps en seconde, la seconde, le signal (en volt) enregistré durant l'illumination de la diode rouge et la troisième, le signal durant l'illumination de la diode infrarouge.
2. "nomdebase"Peaks.txt : Ce fichier contient 9 colonnes, les 8 premières correspondent aux données des extrémums et la dernière, à la valeur du SpO_2 calculée avec les extremums se trouvant sur la même ligne. Les colonnes 1,3,5 et 7 correspondent à la position temporelle (en seconde) des extrémums. La colonne 2 donne les valeurs des minimums dans le rouge (en volt), la colonne 4 des maximums dans le rouge, la colonne 6 des minimums dans l'infrarouge et la colonne 8 des maximums dans l'infrarouge.

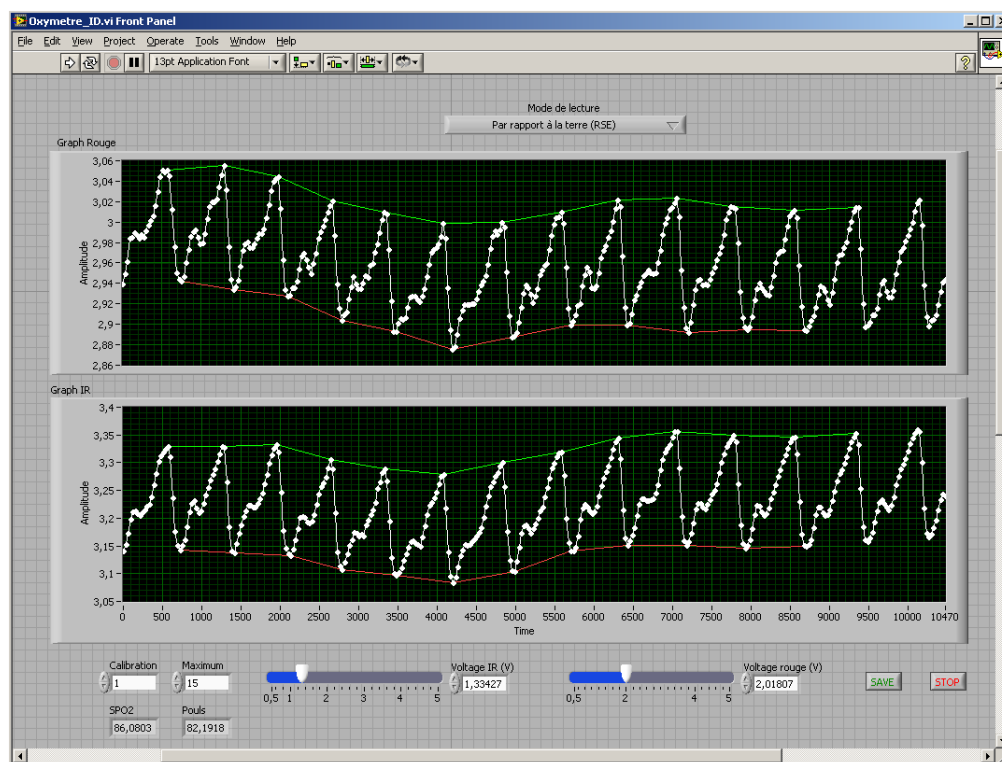


FIGURE 6 – Interface nommée “oxymètre”.

7.3 Générateur de fonction

1. La carte NI PCIe-6251 est munie de deux sorties analogiques. Dans ce laboratoire, ces deux sorties seront utilisées pour allumer en alternance les deux DELs à l'intérieur de la sonde. À l'aide d'une platine (Breadboard), branchez la broche 4 de la carte (sorties analogique AO0) et la broche 2 (sorties analogique AO1) sur l'oscilloscope. Ouvrez le programme nommé “oxymètre” et appuyez sur la petite flèche blanche en haut à gauche pour démarrer le programme. Notez les paramètres des signaux observés à l'oscilloscope (fréquence, rapport allumé/temps d'un cycle (duty ratio) et phase entre les deux signaux en degré).

Note : la sonde et la carte sont munies d'un connecteur RS-232 avec 9 broches. Pour raccorder ces câbles aux platines, utilisez les adaptateurs prévus à cet effet. Le numéro des broches est indiqué directement sur l'adaptateur en question.

2. Dans un premier temps, nous utiliserons ces deux signaux directement de la carte pour allumer les diodes. D'abord, débranchez, de sur l'oscilloscope, les broches 2 et 4 de la carte. Puis,

branchez la broche 4 de la carte (sortie AO0) à la broche 2 de l'oxymètre (Ox2). Puis, branchez la broche 2 de la carte (sortie AO1) à la broche 3 de l'oxymètre (Ox3). Vérifier si la DEL rouge fonctionne bien en ajustant, avec l'interface, la tension au maximum pour le rouge et la tension infrarouge au minimum. Faites de même pour l'infrarouge. Notez que l'œil n'est pas en mesure de détecter la lumière infrarouge, vous aurez donc besoin d'une carte fluorescente (carte rose) et beaucoup de noirceur pour vérifier si elle fonctionne bien.

7.4 Circuit de détection

1. Faites le circuit de détection présenté à la figure 4 (partie de droite seulement). Pour le moment, ne branchez pas la broche 6 de l'amplificateur (Op6) à la carte, branchez-la plutôt à l'oscilloscope. Connectez également la broche 2 de la carte (sortie AO1) à l'oscilloscope tout en la laissant connectée à la broche 3 de l'oxymètre (Ox3). Ajustez d'abord le "trigger" de l'oscilloscope sur la broche 2 de la carte (sortie AO1). Autrement dit, vous aurez un canal qui affichera la tension fournie à l'une des diodes, et un autre canal qui affichera le signal amplifié qui est détecté par la photodiode. Les signaux sont-ils synchronisés ?
2. Maintenant, ajustez le "trigger" de l'oscilloscope sur la sortie de l'amplificateur (Op6). La fréquence devrait être le double, pourquoi ?

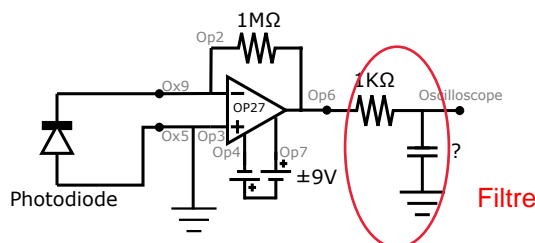


FIGURE 7 – Schéma du circuit de détection avec le filtre passe-bas.

3. Lorsque le signal d'acquisition augmente de façon abrupte, il arrive souvent qu'un pic de haute fréquence soit observé. Pour atténuer ce signal, faites un filtre passe-bas à la sortie du montage. Pour ce faire, faites le schéma de la figure 7 et utilisez la boîte "cap-ranger" pour ajuster la valeur de la capacitance afin de ne plus avoir de pics tout en gardant la forme carrée de l'onde. Notez cette valeur et calculez la fréquence de coupure du filtre que vous avez conçu. La fréquence de coupure d'un filtre passe-bas est donnée par

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}. \quad (16)$$

4. Pourquoi la fréquence de coupure de votre filtre passe-bas doit être si éloignée de la fréquence de l'onde carrée ?

5. Maintenant, débranchez votre circuit de sur l'oscilloscope et connectez la broche 8 de la carte (entrée AI1) à votre circuit (là où il est écrit "Oscilloscope" sur la figure 7). Ajustez la valeur de la tension pour les deux diodes à 5V (valeur maximale). Vous devriez obtenir un signal autour de 9V, ce qui est le niveau de saturation de notre circuit de détection. Assurez-vous que le mode d'acquisition RSE soit bien sélectionné.
6. Mettez l'un de vos doigts dans la sonde. Arrivez-vous à avoir un signal similaire à celui montré à la figure 6 ?
7. Conservez le circuit car vous en aurez besoin dans la deuxième séance.

7.5 Transistor

Comme vous avez pu le remarquer, il n'est pas possible d'obtenir un signal optimal en utilisant directement la carte comme source de tension pour allumer les DELs. En fait, les DELs utilisées sont des diodes haute puissance. Ce type de DELs requiert un grand courant pour les allumer à plein régime. Vous devez donc fournir plus de courant aux diodes. Les sorties analogiques de la carte PCIE-6251 sont limitées à 5 mA tandis que la sortie d'alimentation 5V (broche 6 de la carte) peut fournir jusqu'à 200 mA.

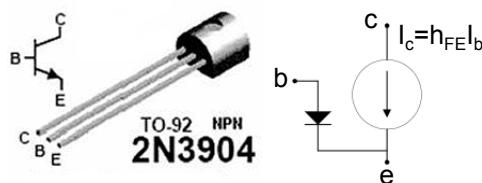


FIGURE 8 – Le transistor 2N3904

Pour fournir plus de courant aux DELs tout en gardant la possibilité de modifier activement la tension fournie à ces dernières, nous utiliserons des transistors. Un transistor est une composante électronique comprenant une base b , un émetteur e et un collecteur c (voir figure 8). Le modèle le plus simple pour un transistor est celui d'une valve limitant le courant au collecteur I_c et contrôlé par le courant à la base I_b . Lorsqu'on dépasse une certaine valeur de courant I_b , le transistor sera considéré comme complètement ouvert, c'est-à-dire que la résistance entre le collecteur et l'émetteur est considérée comme nulle. Autrement, les courants I_c et I_e seront régis par l'équation suivante :

$$I_e \approx I_c = h_{FE} I_b, \quad \text{gain } h_{FE} \text{ dans la datasheet} \quad (17)$$

où h_{FE} est le gain du transistor. Notez qu'à la figure 4, on désigne le transistor par 2N3904, la broche de l'émetteur est représentée par une flèche, la base par une ligne verticale, l'autre broche est le collecteur (voir aussi figure 8).

7.5.1 Gain du transistor avec DEL rouge

1. Faites le circuit montré à la figure 9 sur une platine indépendante (un second "Breadboard"). Utilisez la broche 6 de la carte comme source de tension 5V et la broche 4 de la carte (sortie AO0) pour fournir la tension au transistor. Comme indiqué à la figure 9, utilisez la DEL rouge se trouvant à l'intérieur de l'oxymètre pour faire vos mesures.

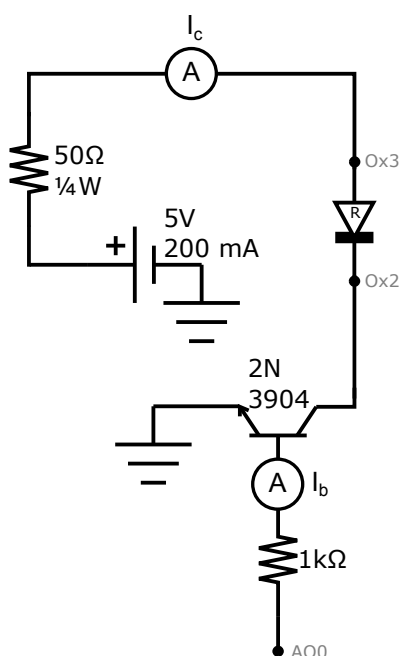


FIGURE 9 – Circuit amplifiant le courant pour la DEL rouge.

2. Prenez d'abord la valeur du courant I_c en appliquant une tension entre 0,8V et 1,4V par incrément de 0,1V. Pour ce faire, placez le multimètre en série à l'endroit approprié dans votre circuit (indiqué par un A sur la figure 9). Pour ces mesures, n'utilisez pas le programme "oxymètre" mais utilisez plutôt MAX (Measurement and Automation). Pour modifier la tension dans MAX, allez dans "My System/Devices and Interfaces/NI-DAQmx Devices/NI PCI-6251" et ouvrez les panneaux de tests. Choisissez "sortie analogique" et le bon numéro de

sortie (AO0). N'oubliez pas d'actualiser la valeur de la tension à 0V entre chacune de vos mesures pour ne pas laisser allumer la DEL trop longtemps.

Note : l'échelle utilisée sur le multimètre peut influencer grandement vos mesures. Utilisez donc toujours l'échelle de 2000 μA

3. Faites de même avec la valeur du courant I_b .
4. Calculez la valeur moyenne du gain h_{FE} . Vérifiez si votre valeur est cohérente avec les spécifications du transistor (voir le fichier pdf sur le bureau).
5. Conserver votre circuit pour la prochaine séance.

8 Manipulations : deuxième séance

8.1 Gain du transistor avec DEL infrarouge

1. Refaites les manipulations de la dernière section, mais cette fois avec la DEL infrarouge. Pour ce faire, utilisez le circuit de la figure 9 mais en interchangeant la broche Ox3 avec Ox2.
2. Obtenez-vous les mêmes résultats ?
3. Lorsque vous aurez terminé, vous pouvez démonter le circuit, car il ne sera plus utilisé pour les prochaines étapes.

8.2 Circuit d'illumination

1. Faites le circuit d'illumination montré à la figure 4 (partie de gauche) et connectez le à la carte et à l'oxymètre.
2. Connectez votre circuit de détection, qui inclut votre filtre passe-bas, à la carte et à l'oxymètre.
3. Créez une source de tension $\pm 9\text{V}$ en utilisant les deux canaux de la source de tension pouvant générer une tension positive uniquement. Pour ce faire, branchez d'abord la sortie positive du canal 1 à la broche 7 de l'amplificateur (Op7) et la sortie négative du canal 2 à la broche 4 de l'amplificateur (Op4). Ensuite, connectez la sortie négative du canal 1 et la sortie positive du canal 2 (les 2 sorties inutilisées) à la mise à la terre de la source de tension. Finalement, vous n'avez qu'à ajuster vos deux sorties à 9V, et votre source $\pm 9\text{V}$ sera opérationnelle.
4. Avant de démarrer le programme, demandez à un auxiliaire de vérifier votre montage d'illumination. Si tout semble correct, démarrez le programme.

5. Vérifiez si votre système d'illumination a été correctement effectué en ajustant la tension infrarouge à 0,5V et la tension rouge à 5V. Vous devriez avoir un signal d'environ 9V sur le graphique rouge et seulement du bruit sur l'infrarouge. Faites de même avec la DEL infrarouge.
6. Mettez votre doigt dans la sonde et ajustez la tension appliquée aux deux DELs pour obtenir un signal similaire à celui montré à la figure 6. Une bonne stratégie pour y arriver est de d'abord mettre le voltage au maximum pour une des DELs, puis de diminuer son voltage jusqu'à obtenir un signal qui est contenu entre 7 et 9V. Faites de même avec la seconde DEL. Le mode d'acquisition RSE doit être sélectionné. Il est important de mettre la sonde avec son doigt à plat sur la table pour ne pas bouger lors de l'acquisition.

8.3 Calibration et calcul du SpO2

1. Lorsque vous avez un bon signal avec votre doigt, notez la valeur de votre pouls. Si vous voulez la modifier, vous pouvez aller monter des marches pour augmenter votre rythme cardiaque et revenir par la suite prendre votre pouls.
2. Pour avoir une mesure fiable de votre SpO2, vous devez ajuster le facteur de calibration. Pour cela, nous utiliserons l'oxymètre portatif comme référence. Lorsque vous avez un signal stable dans le programme labview, mettez un de vos autres doigts dans l'oxymètre portatif et ajustez votre valeur de calibration pour obtenir la même valeur du SpO2 dans le programme labview. Notez cette valeur.
3. Enregistrez les données d'une acquisition stable. Calculez, à l'aide du fichier "nomdebase-Peaks.txt" (voir section 7.2 pour plus de détails), la valeur du SpO2 pour la série d'extrémums de votre choix (grâce à l'une des lignes dans le fichier). Ensuite, vérifiez si vous obtenez la même valeur que dans le programme. Notez que le facteur de calibration est simplement un facteur multiplicatif.

8.4 Modes d'acquisition de la carte, mise à la terre et utilité du filtre passe-bas

Comme vous l'avez observé plus tôt dans le laboratoire, le signal de détection est composé d'une onde carrée dont la fréquence est le double de la fréquence générée pour alimenter les DELs. En fait, chaque plateau de l'onde carrée correspond à un seul point enregistré sur le graphique du programme Labview. Le programme Labview moyenne la valeur de la tension sur chacun des plateaux afin d'en obtenir une valeur unique qu'il rapportera sur le graphique rouge ou infrarouge. Le premier plateau correspond à la détection de la lumière rouge, le second à l'infrarouge, le troisième au rouge et ainsi de suite. Dans cette section, en gardant à l'esprit comment le programme fonctionne, nous explorerons les meilleures stratégies d'acquisitions.

8.4.1 Modes d'acquisition de la carte et mise à la terre

Par défaut, les cartes NI acquièrent les signaux dans un mode appelé différentiel. Ce mode permet de lire une différence de potentiel entre deux bornes. Plusieurs canaux sont alors couplés comme suit : AI0-AI8, AI1-AI9, ..., AI7-AI15. Dans notre cas, la différence de potentiel se lit entre la broche 8 et 9 de la carte, soit les canaux AI1 et AI9. Un autre mode de lecture, appelé RSE, permet plutôt de lire une différence de potentiel entre un canal et la mise à la terre de la carte. Bien que ce mode ne soit pas le mode de lecture par défaut de la carte NI, dans le programme Labview que vous utilisez, c'est ce mode qui est le mode par défaut et c'est celui que vous avez utilisé tout au long du laboratoire.

1. D'abord, nous vérifierons l'importance d'une bonne mise à la terre. Retirez la mise à la terre de l'entrée positive de l'amplificateur (Op3). Dans cette configuration, la broche 5 de l'oxymètre (Ox5) devrait être connectée directement à la broche 3 de l'amplificateur (Op3). Tentez d'obtenir un bon signal. Enregistrez une acquisition. Qu'arrive-t-il au signal ?
2. Connectez à nouveau la mise à la terre à l'entrée positive de l'amplificateur (Op3). Mettez votre doigt dans la sonde. Ajuster les paramètres pour avoir un bon signal, puis changer le mode d'acquisition pour le mode différentiel (avec l'onglet au-dessus des graphiques). Attendez quelques minutes, puis enregistrez une acquisition. Qu'arrive-t-il au signal et pourquoi ?
3. Tout en gardant le mode différentiel, connectez la broche 9 de la carte (entrée AI9) à la mise à la terre. Enregistrez de nouveau une acquisition avec votre doigt dans la sonde. Le signal est-il différent de celui obtenu en mode RSE ?
4. Quelle configuration (RSE sans mise à la terre de Op3, RSE avec mise à la terre de Op3, différentiel sans mise à la terre de AI9 ou différentiel avec mise à la terre de AI9) privilégieriez-vous dans ce laboratoire et pourquoi ?

8.4.2 Utilité du filtre passe bas

Nous avons vu que le filtre passe-bas améliorait la forme du signal à la sortie de l'amplificateur. Cependant il est possible que ce filtre ne joue pas un rôle important, car le programme Labview exclut le début et la fin de chaque plateau avant d'en calculer sa valeur moyenne. Certains piques lors de la montée abrupte de l'onde carrée pourraient tout de même ajouter du bruit sur le signal détecté, c'est ce que nous vérifierons ici.

1. Enlevez votre filtre passe-bas de sur votre circuit de détection et branchez directement la broche 6 de l'amplificateur (Op6) à la broche 8 de la carte (entrée AI1).
2. Mettez votre doigt dans la sonde et ajustez les paramètres pour obtenir un bon signal. Laissez-le fonctionner pendant quelques minutes. Le signal est-il aussi stable qu'avec le filtre passe-bas ?

3. Si votre signal est bruité par des piques, enregistrez une acquisition et mesurez leur amplitude. Comment expliqueriez-vous la présence de ces piques ?

8.5 Extra : Programmation graphique

S'il vous reste suffisamment de temps, vous pouvez tenter de comprendre comment le programme Labview fonctionne avec l'aide d'un auxiliaire. Pour la programmation graphique, le logiciel est une bonne source d'aide. Appuyez sur CTRL-H pour obtenir l'aide contextuelle, elle vous indiquera la fonction des différents éléments pointés par le curseur.

Références

[Webster(1997)] John G. Webster. *Design of pulse oximeters*. CRC Press, 1997. ISBN 0750304677, 9780750304672.