



# LA SPECTROSCOPIE PROCHE INFRAROUGE (NIRS)

UNE MÉTHODE NON-INVASIVE POUR DÉTERMINER L' OXYGENATION MUSCULAIRE

Valentine Roch, Master EP, UNIL 2019



Centre hospitalier  
universitaire vaudois

# La NIRS (near infrared spectroscopy) en bref

## Qu'est-ce que la NIRS?

La **NIRS** (near infraRed spectroscopy), ou spectroscopie proche infrarouge, est une méthode qui consiste à mesurer l'oxygénation musculaire grâce à la diffusion et l'absorption de lumière dans les tissus.

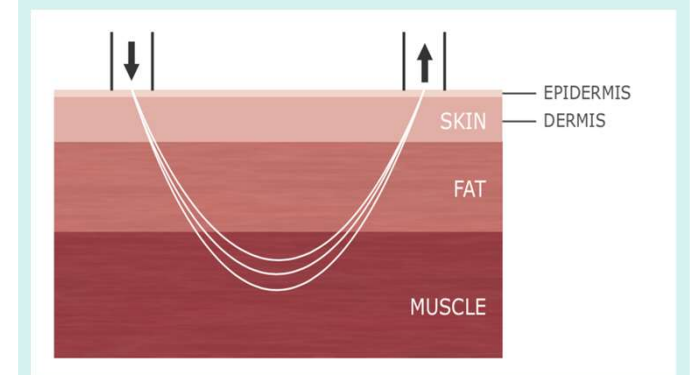
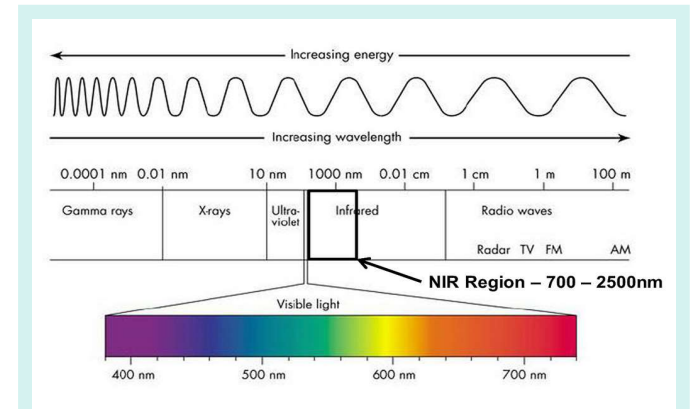
## Comment ça fonctionne?

La NIRS utilise la lumière à infrarouge proche, c'est-à-dire avec des longueurs d'ondes de 700 à 2500 nm, juste au-delà du **spectre visible** à l'œil nu (figure 1). L'outil consiste en général en un petit boîtier que l'on va placer sur la peau, au-dessus du muscle d'intérêt. Il possède un émetteur de lumière, ainsi qu'un récepteur, et va envoyer des faisceaux infrarouges jusque dans les **capillaires du muscle** (Figure 2).

En fonction des tissus et des molécules traversées, la lumière sera plus ou moins absorbée.

## Glossaire

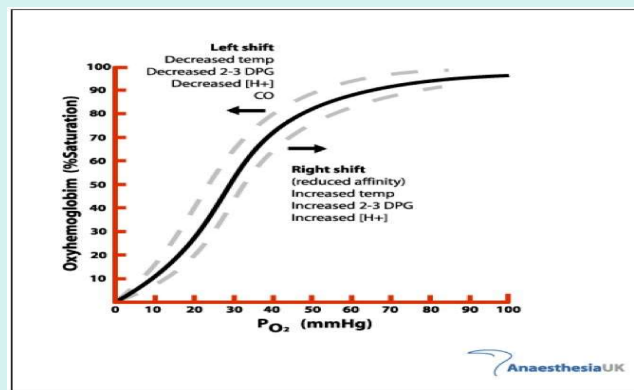
- **ATP**: L' adénosine triphosphate est une molécule permettant de stocker et transporter de l'énergie nécessaire à la contraction musculaire
- **Capillaires**: plus petits vaisseaux sanguins du corps, reliant les veinules (= petits vaisseaux reliant les capillaires aux veines) et les artérioles (= petits vaisseaux reliant les artères aux capillaires).
- **Hb**: Hémoglobine
- **HHb**: Désoxyhémoglobine (hémoglobine ayant libéré son O<sub>2</sub>)
- **NIRS**: Near Infrared Spectroscopy, ou spectroscopie à proche infrarouge
- **O<sub>2</sub>**: Oxygène
- **O<sub>2</sub>Hb**: Oxyhémoglobine (hémoglobine liée à de l'O<sub>2</sub>)
- **PO<sub>2</sub>**: Pression partielle d'O<sub>2</sub>
- **SmO<sub>2</sub>**: Saturation musculaire en O<sub>2</sub>
- **ḂO<sub>2</sub>max** : Volume maximal d'utilisation et de transport d'O<sub>2</sub> par les tissus.



# L'hémoglobine et le transport d'oxygène

Le muscle squelettique dépend de trois filières énergétiques afin de synthétiser l'ATP (= molécule créant de l'énergie et qui permet la contraction musculaire). La première est la filière *anaérobie alactique*, et dépend principalement des réserves de créatine. La seconde est la filière *anaérobie lactique*, qui utilise le glycogène ainsi que le glucose pour synthétiser l'ATP. Comme son nom l'indique, cette filière produit du lactate, et n'a pas besoin d'O<sub>2</sub> pour fonctionner. La troisième est la filière aérobie, qui utilise les glucides ainsi que les acides gras pour synthétiser l'ATP, et ce en présence d'O<sub>2</sub>.

Ces trois filières vont fonctionner en même temps pendant l'exercice. Elles deviennent cependant « prioritaire » en fonction du type d'exercice. Ainsi, la filière anaérobie alactique sera dominante lors d'exercices très courts et intenses (ex: sprints). La filière anaérobie lactique sera dominante lors d'exercices d'intensité élevée et de courte durées (ex: course de fond), alors que la filière aérobie sera dominante lors d'exercice d'intensité modérée, et sur de longue durée (ex: marathons). L'O<sub>2</sub> est donc toujours nécessaire durant l'exercice, que ce soit au niveau central ou au niveau périphérique.

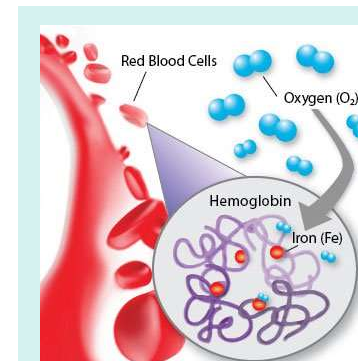


**Graphique 1.** Le graphique ci-dessus représente la courbe de dissociation de l'oxyhémoglobine, en fonction de la PO<sub>2</sub>. Il se lit de droite à gauche. Plus la PO<sub>2</sub> sera élevée et plus l'O<sub>2</sub>Hb sera saturée. A mesure que la PO<sub>2</sub> diminue, la courbe de dissociation va devenir de plus en plus raide, ce qui signifie que plus le besoin en O<sub>2</sub> est grand, plus l'O<sub>2</sub>Hb va avoir de la facilité à décharger son O<sub>2</sub>. Cela explique la forme sigmoïde de la courbe. Lors d'un exercice physique, la courbe sera décalée vers la droite, ce qui implique que l'affinité de l'Hb à l'O<sub>2</sub> sera réduite, et donc que l'O<sub>2</sub> sera libéré plus facilement.

La molécule permettant de transporter l'O<sub>2</sub> dans le sang, et de l'acheminer des poumons aux différentes régions de l'organisme est appelée **hémoglobine (Hb)** (figure 3). Lorsque cette dernière est liée à 4 molécules d'O<sub>2</sub>, on dit alors qu'elle est saturée. Au repos, la saturation en O<sub>2</sub> est en général de 97%, ce qui signifie que chaque molécule d'Hb est saturée. Lors d'un exercice, la demande en O<sub>2</sub> au niveau musculaire va augmenter, et l'Hb pourra libérer son O<sub>2</sub> au niveau des capillaires des muscles actifs.

Une des particularité de la relation entre l'O<sub>2</sub> et l'Hb est que chaque molécule d'O<sub>2</sub> qui se lie va permettre de faciliter la liaison de la molécule suivante (graphique 1).

De plus, lorsque l'hémoglobine est liée à de l'O<sub>2</sub>, on l'appelle **oxyhémoglobine (O<sub>2</sub>Hb)**, et elle a une couleur **rouge**. Lorsqu'elle a libéré son O<sub>2</sub>, on l'appelle **désoxyhémoglobine (HHb)** et elle devient alors **bleue**. La NIRS examine le ratio entre l'oxyhémoglobine (O<sub>2</sub>Hb) et l'hémoglobine totale (THb). Ce ratio est un index qui reflète le changement de saturation musculaire en O<sub>2</sub> (SmO<sub>2</sub>), et permet donc d'indiquer l'équilibre entre la distribution et la consommation d'O<sub>2</sub> par les tissus (Boushel et al., 2001).



**Figure 3.** L'hémoglobine (Hb) est présente dans les globules rouges du sang. Elle est constituée de 4 chaînes polypeptidiques, qui contiennent chacune 1 groupement hème (fer), qui peuvent se lier à 4 molécules d'O<sub>2</sub>.

Image: <https://www.medicinenet.com/hemoglobin/article.htm>

# Quel intérêt pour la performance?

Lors d'un test de performance, le sujet est amené à réaliser un effort maximal lors d'un test par paliers de 3 minutes. Afin de déterminer sa  $\dot{V}O_2\text{max}$  il est nécessaire de mesurer plusieurs éléments: la ventilation (à l'aide d'un masque), la fréquence cardiaque (à l'aide d'une ceinture), et le lactate sanguin (grâce à un prélèvement de sang au bout du doigt). Même si ces différentes mesures permettent d'avoir une estimation des changements systémiques dans l'organisme, ils ne produisent aucune information spécifique sur les muscles actifs (Farzam et al., 2018). L'utilisation de la NIRS permettrait donc de mesurer les changements de  $SmO_2$  durant un test de performance, ce qui refléterait le métabolisme musculaire durant l'effort.

De plus, même si la ventilation et la lactatémie permettent de mesurer les seuils ventilatoires et lactiques, Plusieurs études soulignent que la NIRS pourrait potentiellement être utilisée afin de déterminer des seuils comparables aux seuils lactiques (Belloti et al., 2013).

Effectivement, Xu et al., ont réalisé une étude prouvant que la consommation d' $O_2$  pouvait être comparée au lactate sanguin durant un effort incrémental. Cela serait dû au fait que la diminution de  $SmO_2$  pendant un effort constant serait influencé par l'accumulation de lactate sanguin (Costes et al., 2001). La NIRS serait donc un outil extrêmement utile pour les tests de performance, car il serait non-invasif, peu coûteux et pourrait même être utilisé sur des tests de terrain.

De plus, il a été démontré que la  $SmO_2$  diminue lentement durant des exercices de faible intensité et plus rapidement pour des exercices dont l'intensité est plus élevée (Belardinelli et al., 1995). La NIRS pourrait donc être utilisée conjointement aux seuils ventilatoire afin de déterminer les différentes zones d'entraînement de manière encore plus spécifiques en fonction des besoin métaboliques des muscles.

Cet outil pourrait également être utilisé durant des entraînements afin de contrôler le niveau de  $SmO_2$ , si l'on émet l'hypothèse que les différentes zones ont été déterminées grâce à la NIRS.

Finalement, la NIRS pourrait également offrir d'importantes informations sur la récupération (Dupont et al., 2003), et pourrait donc être utilisée afin de mesurer la récupération musculaire, que ce soit dans les sports d'endurance ou dans les sports de force. Des études supplémentaires seraient cependant encore nécessaires pour valider ce point.

# Quel intérêt pour l'ergospirométrie clinique?

La NIRS pourrait également être très utile dans le domaine de l'ergospirométrie clinique. Plusieurs études ont utilisé la NIRS afin d'évaluer différentes maladies vasculaires périphériques (Vardi and Nini, 2008), et plusieurs anomalies de  $SmO_2$  ont été détectées chez des patients atteints de ces maladies (Cheatle et al., 1991).

Cet outil est également utile dans l'investigation des différents symptômes de fatigue présents chez les patients atteints de maladie pulmonaires obstructives chroniques (CPOD) (Hamakoa et al., 2011; Rondelli et al., 2009). Une autre étude a démontré que la NIRS permettait de quantifier la capacité réduite de l'extraction d' $O_2$  chez les patients atteints de myopathies métaboliques (Grassi et al., 2017). Cet outil a également permis de mesurer les réponses cardiorespiratoires ainsi que de l'oxygénation musculaire chez des patients paraplégiques (Muraki et al., 2007).

Les champs d'application cliniques sont donc vastes et la NIRS pourrait être couplée à un test d'effort afin de mesurer et quantifier les symptômes des différentes maladies plus haut. Evidemment, la NIRS reste encore un outil expérimental, et des études complémentaires seraient nécessaires.

# Limites et conclusion

Même si la NIRS est un outil prometteur, il est cependant important de garder un œil critique sur les différentes études réalisées à ce jour.

Effectivement, même si plusieurs études soulignent l'efficacité de la NIRS dans la détermination de seuils équivalents aux seuils lactiques, d'autres études ne montrent au contraire aucune valeur absolue ou relative permettant de les identifier (Farzam et al., 2018). Ces auteurs ont également souligné l'importance du tissu adipeux sous-cutané, qui pourrait avoir une influence sur les mesures de la NIRS. D'autres facteurs peuvent également influencer l'efficacité de la NIRS, notamment la perfusion de la peau et le débit sanguin qui augmente lors de l'exercice (du à une augmentation de la température) (Jones et al., 2016).

En gardant un regard critique sur cet outil en regard des limites citées ci-dessus, la NIRS est cependant un outil montrant des résultats prometteurs, et pourrait être utilisée en testing mais aussi lors d'entraînements spécifiques.

# RÉFÉRENCES

- Belardinelli, Romualdo, Thomas J. Barstow, Janos Porszasz, and Karlman Wasserman. "Changes in Skeletal Muscle Oxygenation during Incremental Exercise Measured with near Infrared Spectroscopy." *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 70, no. 6 (1995): 487–92. <https://doi.org/10.1007/BF00634377>.
- Bellotti, Cecilia, Elisa Calabria, Carlo Capelli, and Silvia Pogliaghi. "Determination of Maximal Lactate Steady State in Healthy Adults: Can NIRS Help?" *Medicine & Science in Sports & Exercise* 45, no. 6 (June 2013): 1208–16. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3182828ab2>.
- Boushel, R., H. Langberg, J. Olesen, J. Gonzales-Alonzo, J. Bulow, and M. Kjaer. "Monitoring Tissue Oxygen Availability with near Infrared Spectroscopy (NIRS) in Health and Disease." *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 11, no. 4 (August 2001): 213–22. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0838.2001.110404.x>.
- Brizendine, Jared Todd, Terence Edward Ryan, Rebecca Dante Larson, and Kevin K. McCULLY. 2013. "Skeletal Muscle Metabolism in Endurance Athletes with Near-Infrared Spectroscopy:" *Medicine & Science in Sports & Exercise* 45 (5): 869–75. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31827e0eb6>.
- Cheatle TR, Potter LA, Cope M, Delpy DT, Coleridge Smith PD, Scurr JH. Near-infrared spectroscopy in peripheral vascular disease. *Br J Surg* 1991; 78: 405–408.
- Chiappa GR, Borghi-Silva A, Ferreira LF, Carrascosa C, Oliveira CC, Maia J, et al. Kinetics of muscle deoxygenation are accelerated at the onset of heavy- intensity exercise in patients with COPD: relationship to central cardiovascular dynamics. *J Appl Physiol*. 2008;104(5):1341-50.
- Costes, Frederic, Fabrice Prieur, L??Onard F??Asson, Andr?? Geyssant, Jean-Claude Barth??L??My, and Christian Denis. "Influence of Training on NIRS Muscle Oxygen Saturation during Submaximal Exercise:" *Medicine & Science in Sports & Exercise* 33, no. 9 (September 2001): 1484–89. <https://doi.org/10.1097/00005768-200109000-00010>.
- Dupont, Gr??gory, Wassim Moalla, Comlavi Guinhouya, Sa??D Ahmaidi, and Serge Berthoin. 2004. "Passive versus Active Recovery during High-Intensity Intermittent Exercises:" *Medicine & Science in Sports & Exercise* 36 (2): 302–8. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000113477.11431.59>.
- Farzam, Parisa, Zack Starkweather, and Maria A. Franceschini. "Validation of a Novel Wearable, Wireless Technology to Estimate Oxygen Levels and Lactate Threshold Power in the Exercising Muscle." *Physiological Reports* 6, no. 7 (April 2018): e13664. <https://doi.org/10.14814/phy2.13664>.
- Grassi, Bruno, Mauro Marzorati, Francesca Lanfranconi, Alessandra Ferri, Miriam Longaretti, Andrea Stucchi, Paola Vago, Claudio Marconi, and Lucia Morandi. "Impaired Oxygen Extraction in Metabolic Myopathies: Detection and Quantification by near-Infrared Spectroscopy." *Muscle & Nerve* 35, no. 4 (April 2007): 510–20. <https://doi.org/10.1002/mus.20708>.

- Jones, Siana, Scott T. Chiesa, Nishi Chaturvedi, and Alun D. Hughes. "Recent Developments in Near-Infrared Spectroscopy (NIRS) for the Assessment of Local Skeletal Muscle Microvascular Function and Capacity to Utilise Oxygen." *Artery Research* 16 (December 2016): 25–33. <https://doi.org/10.1016/j.artres.2016.09.001>.
- Hamaoka, Takafumi, Kevin K. McCully, Masatsugu Niwayama, and Britton Chance. "The Use of Muscle Near-Infrared Spectroscopy in Sport, Health and Medical Sciences: Recent Developments." *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 369, no. 1955 (November 28, 2011): 4591–4604. <https://doi.org/10.1098/rsta.2011.0298>.
- Hamaoka, Takafumi, Kevin K. McCully, Valentina Quaresima, Katsuyuki Yamamoto, and Britton Chance. "Near-Infrared Spectroscopy/Imaging for Monitoring Muscle Oxygenation and Oxidative Metabolism in Healthy and Diseased Humans." *Journal of Biomedical Optics* 12, no. 6 (2007): 062105. <https://doi.org/10.1117/1.2805437>.
- Muraki, S., Fornusek, C., Raymond, J. & Davis, G. M. 2007 Muscle oxygenation during prolonged electrical stimulation-evoked cycling in paraplegics. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 32, 463-472. (doi: 10.1139/H07-007)
- Reiss, D., Prévost P. 2017 *La bible de la préparation physique*. Amphora: Paris. (ISBN: 978-2-85180-974-2)
- Rondelli, Rafaella Rezende, Simone Dal Corso, Alexandre Simões, and Carla Malaguti. "Métodos de Avaliação Da Fadigabilidade Muscular Periférica e Seus Determinantes Energético-Metabólicos Na DPOC." *Jornal Brasileiro de Pneumologia* 35, no. 11 (November 2009): 1125–35. <https://doi.org/10.1590/S1806-37132009001100011>.
- Vardi, M., and A. Nini. "Near-Infrared Spectroscopy for Evaluation of Peripheral Vascular Disease. A Systematic Review of Literature." *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery* 35, no. 1 (January 2008): 68–74.
- Xu, Guodong, Zongzhen Mao, Yanjie Ye, and Kunru Lv. 2011. "Relationship between Muscle Oxygenation by NIRS and Blood Lactate." *Journal of Physics: Conference Series* 277 (January): 012042. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/277/1/012042>.

## Images

- Image de couverture: <https://hipwallpaper.com/view/mtZR9Y>
- Figure 1: <https://www.processsensors.com/whats-new/blog/near-infrared-measurements-how-do-they-work>
- Figure 2: Moxy ebook
- Figure 3: <https://www.medicinenet.com/hemoglobin/article.htm>