

## L'entraînement en hypoxie est-il accessible au club de foot modeste ?

Beaucoup d'athlètes et de préparateurs physiques se demandent comment utiliser l'entraînement en altitude, notamment quand il s'agit de l'appliquer à un sport d'équipe comme le football, où il est question d'effort intermittent et explosif.

Les joueurs d'une équipe de football, au cours d'un match, effectuent un grand nombre d'actions de haute intensité, comprenant de nombreux sprints, souvent suivi de récupérations incomplètes. Le développement de leur capacité à effectuer de manière répétée des exercices intenses pendant des périodes prolongées est importante pour les actions décisives de match (Iaia et al., 2009). Aussi, *Repeated Sprint Ability* (RSA), « la capacité à répéter des sprints » qui représente la capacité à répéter des efforts maximaux entrecoupés de brefs intervalles de récupération, est considérée comme un facteur clé dans les sports d'équipe (Mendez-Villanueva et al., 2011 ; Girard et al., 2011). L'entraînement en altitude est souvent lié à une logistique complexe et à du matériel onéreux. Par conséquent, le but de cette recherche est de parcourir l'évolution des méthodes d'entraînement en altitude et de montrer qu'il est possible d'utiliser l'hypoxie pour atteindre des améliorations de la RSA et cela avec des moyens simples et par conséquent accessible à des clubs amateurs.



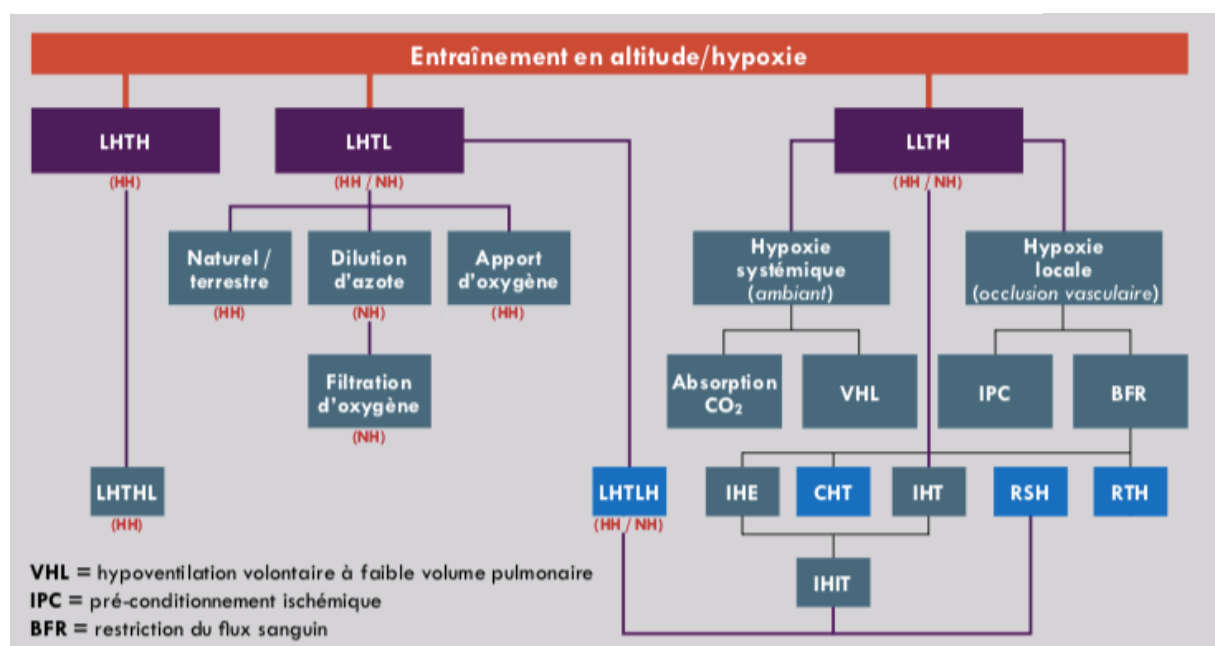
(Maridav – Fotolia)

L'entraînement en altitude a vu le jour avec les jeux olympiques de Mexico (1968) et a connu un succès grandissant notamment chez les sports d'endurance en premier (Roskamm et al. 1969 ; Dill and Adams, 1971 ; Levine and Stray-Gundersen, 1997). Pendant de nombreuses années, l'approche consistait en une amélioration de la consommation maximale d'oxygène ( $\dot{V}O_2\text{max}$ ) en augmentant principalement la capacité à transporter l'oxygène ( $O_2$ ) dans le sang. On parlait, alors, de *Live High-*

*Train-High* (LHTH) (Dill and Adams, 1971), traduit par : « vivre en altitude et s’entraîner en altitude ». Cette méthode était en particulier utile pour préparer une compétition en altitude. Quelques années plus tard, la méthode *Live High-Train Low* (LHTL) (Levine and Stray-Gundersen, 1997) « vivre en altitude et s’entraîner au niveau de la mer » permettait aux athlètes de bénéficier des effets d’une exposition à l’altitude tout en maintenant des entraînements d’une intensité élevée au niveau de la mer. Cette dernière méthode c’est largement popularisée grâce à l’arrivée d’une nouvelle technologie, les chambres hypoxiques normobares. Cette technologie permet une simulation de l’altitude par la réduction de la concentration en O<sub>2</sub> dans l’air inspiré via la dilution d’azote ou la filtration d’O<sub>2</sub>. Ces appareils ont surtout propulsé l’arrivée de nouvelles méthodes d’entraînement qui forment une troisième grande famille : *Live low-Train High* (LLTH), « vivre au niveau de la mer et s’entraîner en altitude ».

Aujourd’hui, la palette d’entraînement liée à l’altitude est bien plus large (Figure 1) (Millet et al. 2013) et offre de multiples possibilités liées à l’augmentation des capacités aérobie et anaérobie des athlètes. Ces méthodes ne seront cependant pas toutes détaillées dans ce document, mais brièvement schématisées (tableau 1). Nous noterons que la plupart sont très contraignantes au niveau des installations et du budget (chambre hypoxique, tunnel hypoxique gonflable, compresseur hypoxique). Ainsi, ce document s’intéressera surtout à une déclinaison des méthodes dites « classiques » décrites précédemment : L’entraînement de type *Repeated-Sprint in Hypoxia* (RSH) ou « répétition de sprint en hypoxie » (Figure1).

Figure 1 – Panorama des méthodes d’entraînement en altitude/Hypoxie

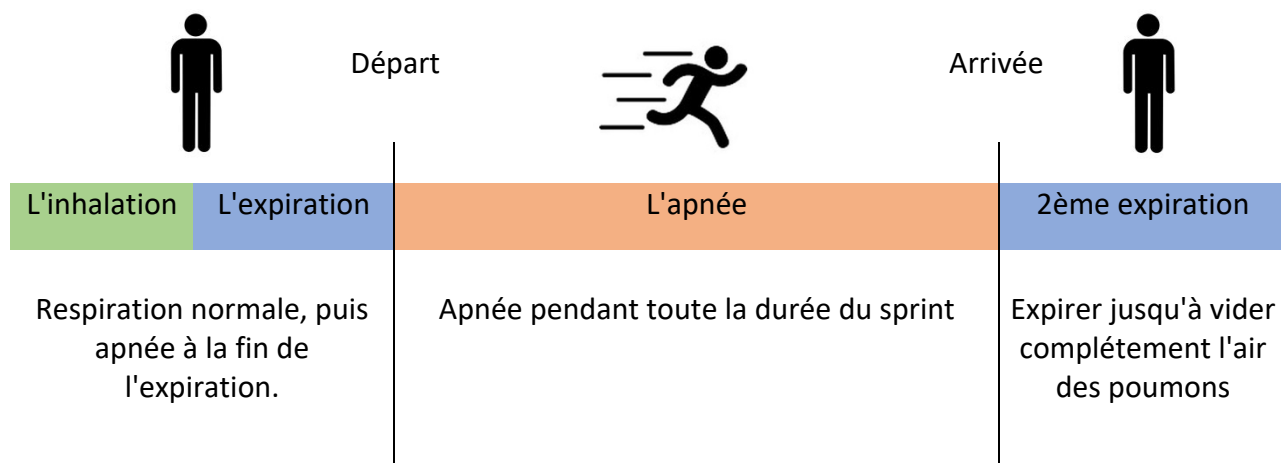


La RSH est constituée d'efforts répétés d'intensité maximale de courte durée ( $\leq 30s$ ), entrecoupés de courtes récupérations. Au cours des dernières années, il a été démontré qu'il est possible d'améliorer considérablement la RSA lors d'un entraînement en RSH. Si l'on compare le même entraînement en conditions normoxiques (RSN), la capacité à répéter des sprints au niveau de la mer s'est avérée être largement plus importante après un entraînement en RSH chez les joueurs de football et de rugby (Gatterer et al., 2014 ; Hamlin et al., 2017). Une augmentation plus importante de la distance parcourue pendant un test intermittent après un entraînement en RSH a également été rapportée chez des joueurs de rugby (RSH: + 33% vs RSN: + 14%) (Galvin et al., 2013). En somme, la majorité des études sur les effets de la RSH ont rapporté des gains de performances supérieures qu'en RSN (Brocherie et al., 2017). Cependant, là encore, il est nécessaire d'avoir des installations spécifiques et par conséquent, la RSH ne peut être pratiqué facilement sur le terrain.

Or, la littérature récente sur l'entraînement en hypoxie montre que les résultats rapportés lors d'études en RSH ont été similaire lorsque les conditions hypoxiques avaient été créées par *voluntary hypoventilation at low lung volume* (VHL) (Fornasier-Santos et al., 2018 ; Trincat et al., 2017), « hypoventilation volontaire à faible volume pulmonaire ». Cette technique de respiration a déjà été utilisée dans plusieurs études (Woorons et al., 2008, 2010, 2016) et elle est reconnue comme l'une des différentes méthodes d'entraînement hypoxique (Girard et al., 2017). Cette technique a été largement décrite dans l'étude de Xavier Woorons et al. (2017). Elle consiste à répéter de courtes périodes d'apnées pendant l'exercice. Contrairement à une simple apnée, dans laquelle la respiration est généralement maintenue à un volume pulmonaire élevé, c'est-à-dire à capacité pulmonaire totale et aussi longtemps que possible, la VHL nécessite un contrôle rigoureux de la respiration pour obtenir un effet hypoxique tout en évitant l'asphyxie. Cette technique se déroule en quatre phases : l'inhalation, l'expiration, l'apnée et une deuxième expiration (Figure 2). Après l'inhalation, la première expiration se fait naturellement, sans forcer, afin d'atteindre la capacité résiduelle fonctionnelle (FRC). Après la première expiration, une apnée de quelques secondes doit être effectuée et doit être suivie d'une seconde expiration jusqu'au volume résiduel qui vise à évacuer le dioxyde de carbone accumulé dans les poumons.



Figure 2 – Les quatre phases de la technique VHL



Pendant les répétitions de sprints en hypoxie induite par VHL (RSH-VHL) chez des cyclistes, les sujets de l'étude de Xavier Woorons et al. (2017) devaient réaliser une expiration normale au début de chaque sprint, puis retenir leur respiration jusqu'à la fin de l'effort d'environ 6 secondes pour enfin effectuer une deuxième expiration afin de vider l'air résiduel des poumons. La même technique a été ensuite utilisée avec des rugbymans (Fornasier-Santos et al., 2018) : le groupe RSH-VHL a effectué des répétitions de sprints avec VHL, sauf pour la récupération entre les séries qui a été effectuée avec une respiration normale. Les sujets ont été invités à expirer normalement juste avant le début de chaque sprint, puis de retenir leur respiration jusqu'à la fin du sprint de 40 m et enfin d'effectuer la deuxième expiration afin de vider l'air restant des poumons. Un compte à rebours verbal a été donné dans les 5 dernières secondes avant le début des sprints. Après chaque sprint de 40 m, les sujets bénéficiaient d'une récupération semi-active en marchant lentement jusqu'à la ligne d'arrivée, et recommençaient l'exercice à partir de cet endroit.

Les bénéfices obtenus par cette technique ont été rapportés dans plusieurs études. Un gain de 35% du nombre de sprints effectués jusqu'à l'échec a été mis en évidence chez des nageurs de compétition après six séances de RSH-VHL sur une période de deux semaines (Trincat et al. 2017). Inversement, les nageurs qui ont suivi la même formation dans des conditions normales n'ont pas amélioré de manière significative leurs performances. Dans l'étude de Fornasier-Santos et al. (2018), dont la méthode de respiration a été précédemment décrite, les joueurs de rugby ont obtenu une amélioration de leur RSA avec une augmentation de 64% du nombre de sprints après quatre semaines de RSH-VHL, alors qu'aucun gain de performance n'a été enregistré en RSN. Ces résultats s'accordent avec ceux obtenus dans les tests en RSH chez des cyclistes (+ 38% du nombre de sprints jusqu'à l'échec) (Faiss et al. 2013).

Une explication possible de l'amélioration de la RSA via RSH-VHL, est que cette approche induirait des adaptations physiologiques similaires à celles obtenues en RSH. Une augmentation significative du flux sanguin musculaire a été observé après seulement quelques semaines d'entraînement (Faiss et al. 2013a, b, 2015). Cette adaptation se ferait principalement dans les fibres à contraction rapide (Faiss et al. 2013b) et serait la conséquence d'une vasodilatation compensatoire facilitée par l'effet d'une exposition hypoxique (Casey et al.2011). Même si l'augmentation du flux sanguin musculaire ne peut se produire dans la même mesure en RSH-VHL qu'en RSH, en raison de la dose hypoxique plus faible (Woorons 2014), une meilleure utilisation de l'O2 tissulaire est toujours possible.

La méthode RSH-VHL apparaît indubitablement comme une méthode prometteuse et applicable facilement sur le terrain. A noter que les études sur le sujet sont encore très récentes et nécessitent d'être approfondies. Des questions comme : « Est-ce que l'effet de l'entraînement est durable, si oui, pour combien de temps ? - A quelle fréquence devons-nous appliquer l'entraînement pour maintenir les effets ? » nécessitent encore des réponses. Le champ de recherche est encore très large et donne une ouverture pour améliorer cette méthode. Elle reste néanmoins une solution pratique pour les entraîneurs ou athlètes qui souhaitent améliorer leur RSA sans passer par une logistique complexe ou du matériel onéreux.

Méthode	Description	But	Adaptations
CHT	Entraînement continu en hypoxie	➤ Qualités "aérobies"	Amélioration du Transport d'O2
IHT	Interval-training en hypoxie	➤ Qualités physique	Adaptations moléculaire
RSH	répétition de sprint en hypoxie	➤ Capacité a répéter des sprints	Adaptations moléculaire + Augmentation du flux sanguin
RTH	Renforcement musculaire en hypoxie	➤ Qualités de force	Hypertrophie
LHTLH	Vivre en altitude et s'entraîner au niveau de la mer et en altitude	➤ Capacité a répéter des sprints + Aérobic spécifique	Adaptations moléculaire + Amélioration du transport d'O2

## Bibliographie

- Brocherie, F., Girard, O., Faiss, R., & Millet, G. P. (2017). Effects of repeated-sprint training in hypoxia on sea-level performance: a meta-analysis. *Sports Medicine*, 47(8), 1651-1660.
- Dill, D. B., & Adams, W. C. (1971). Maximal oxygen uptake at sea level and at 3,090-m altitude in high school champion runners. *Journal of Applied Physiology*, 30(6), 854-859.
- Faiss, R., Leger, B., Vesin, J. M., Fournier, P. E., Eggel, Y., Deriaz, O., & Millet, G. P. (2013). Significant molecular and systemic adaptations after repeated sprint training in hypoxia. *PLoS one*, 8(2).
- Fornasier-Santos, C., Millet, G. P., & Woorons, X. (2018). Repeated-sprint training in hypoxia induced by voluntary hypoventilation improves running repeated-sprint ability in rugby players. *European journal of sport science*, 18(4), 504-512.
- Girard, O., Mendez-Villanueva, A., & Bishop, D. (2011). Repeated-sprint ability—Part I. *Sports medicine*, 41(8), 673-694.
- Galvin, H. M., Cooke, K., Sumners, D. P., Mileva, K. N., & Bowtell, J. L. (2013). Repeated sprint training in normobaric hypoxia. *Br J Sports Med*, 47(Suppl 1), i74-i79.
- Gatterer, H., Philippe, M., Menz, V., Mosbach, F., Faulhaber, M., & Burtscher, M. (2014). Shuttle-run sprint training in hypoxia for youth elite soccer players: a pilot study. *Journal of sports science & medicine*, 13(4), 731.
- Girard, O., Brocherie, F., & Millet, G. P. (2017). Effects of altitude/hypoxia on single-and multiple-sprint performance: a comprehensive review. *Sports medicine*, 47(10), 1931-1949.
- Hamlin, M. J., Olsen, P. D., Marshall, H. C., Lizamore, C. A., & Elliot, C. A. (2017). Hypoxic repeat sprint training improves rugby player's repeated sprint but not endurance performance. *Frontiers in Physiology*, 8, 24.
- Iaia, F. M., Ermanno, R., & Bangsbo, J. (2009). High-intensity training in football. *International journal of sports physiology and performance*, 4(3), 291-306.
- Levine, B. D., & Stray-Gundersen, J. (1997). "Living high-training low": effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. *Journal of applied physiology*, 83(1), 102-112.
- Mendez-Villanueva, B. D. G. O. (2011). A. Repeated-sprint ability-part II: recommendations for training. *Sports Med*, 41(9), 741-756.
- Millet, G. P., Faiss, R., Brocherie, F., & Girard, O. (2013). Hypoxic training and team sports: a challenge to traditional methods?
- Roskamm, H., Landry, F., Samek, L., Schlager, M., Weidemann, H., & Reindell, H. (1969). Effects of a standardized ergometer training program at three different altitudes. *Journal of Applied Physiology*, 27(6), 840-847.

Trincat, L., Woorons, X., & Millet, G. P. (2017). Repeated-sprint training in hypoxia induced by voluntary hypoventilation in swimming. *International journal of sports physiology and performance*, 12(3), 329-335.

Woorons, X., Mollard, P., Pichon, A., Duvallet, A., Richalet, J. P., & Lamberto, C. (2008). Effects of a 4-week training with voluntary hypoventilation carried out at low pulmonary volumes. *Respiratory physiology & neurobiology*, 160(2), 123-130.

Woorons, X., Bourdillon, N., Vandewalle, H., Lamberto, C., Mollard, P., Richalet, J. P., & Pichon, A. (2010). Exercise with hypoventilation induces lower muscle oxygenation and higher blood lactate concentration: role of hypoxia and hypercapnia. *European journal of applied physiology*, 110(2), 367-377.

Woorons, X., Mucci, P., Richalet, J. P., & Pichon, A. (2016). Hypoventilation training at supramaximal intensity improves swimming performance. *Med Sci Sports Exerc*, 48(6), 1119-1128.

Woorons, X., Mucci, P., Aucouturier, J., Anthierens, A., & Millet, G. P. (2017). Acute effects of repeated cycling sprints in hypoxia induced by voluntary hypoventilation. *European journal of applied physiology*, 117(12), 2433-2443.