



**PRÉPARATION À  
LA COURSE À PIED  
SUR LONGUE DISTANCE PAR  
L'ENTRAÎNEMENT  
RESPIRATOIRE.**

**Présenté par**

**Sébastien Zappa,**

**Mémoire Moniteur REBO2T 2021-2022**

Validé Septembre 2022 par Y. CAM, fondateur REBO2T

## Table des matières

PRÉPARATION À LA COURSE À PIED SUR LONGUE DISTANCE PAR L'ENTRAÎNEMENT RESPIRATOIRE. ....	2
1. INTRODUCTION .....	2
2. LA RESPIRATION LORS DE LA COURSE À PIED.....	4
• 2.a. La respiration comme réponse métabolique.....	4
• 2.b. La respiration comme aide à la locomotion .....	5
3. QUAND LA RESPIRATION LIMITE LA COURSE À PIED .....	6
• 3.a. L'hyperinflation des poumons.....	7
• 3.b. Le détournement du sang .....	8
• 3.c. L'hyperventilation .....	9
4. .PROBLÉMATIQUE ET STRATÉGIE .....	11
• 4a. Présentation et limitations .....	11
• 4b. Test objectif.....	13
• 4c. Tests subjectifs .....	13
5. OUTILS RESPIRATOIRE POUR LA COURSE À PIED.....	14
• 5a Adopter une forme respiratoire efficace.....	14
• 5b Outils respiratoires de préparation .....	23
6. CONCLUSION.....	29
7. Références :.....	34

# PRÉPARATION À LA COURSE À PIED SUR LONGUE DISTANCE PAR L'ENTRAÎNEMENT RESPIRATOIRE.

Rapport présenté dans le cadre de la formation de Moniteur de Respiration REBO<sub>2</sub>T (par Yvan Cam). Promotion 2021-2022.

## 1. INTRODUCTION

La maîtrise de la respiration est potentiellement bénéfique pour toute personne soumise à des contraintes pouvant impacter son état de stress, ses émotions, sa posture, son attention. Cela concerne à peu près tout le monde et est précisément ce dont traite la méthode REBO<sub>2</sub>T. Mais plus fondamentalement, la respiration est une réponse physiologique aux besoins énergétiques. L'activité physique implique une augmentation des besoins énergétiques (en plus d'impacter stress, émotions et posture). On comprend donc aisément que la maîtrise de la respiration peut être cruciale pour la pratique sportive. On ne peut que souhaiter que cela concerne le plus de monde possible, étant donné les bienfaits de l'activité physique (Kandola *et al.*, 2019; Mok *et al.*, 2019; Reimers *et al.*, 2012). Une activité physique populaire est la course à pied. Celle-ci a connu une forte augmentation de popularité en deux temps, d'abord dans les années 1970 et 1980, puis plus récemment au début des années 2000 (Nilson *et al.*, 2021). La participation à des courses d'endurance a augmenté de presque 60% entre 1986 et 2018 (Andersen, 2019). Il est intéressant de noter que, si la participation moyenne sur les distances de 5 à 42,2 km est en léger déclin depuis 2016, une vue détaillée montre que ce déclin semble

concerné principalement le 5 km. En effet, la participation au marathon est stable et celle aux ultra-marathons est quant à elle en augmentation constante depuis 2008 (Ronto, 2020). La participation à des ultra-marathons a augmenté de 1676% entre 1997 et 2020 et de 345% entre 2010 et 2020. Cet engouement populaire est naturellement associé à une offre de services d'entraînements privés, de matériel proposé par des grandes marques (notamment de chaussures), une littérature généraliste foisonnante (sur l'entraînement, la nutrition...). À ma connaissance, les conseils sur la respiration lors de la course à pied sont relativement discrets, comparés à la masse d'information sur les plans d'entraînement, la cadence, l'attaque de la chaussure sur le sol, le type de chaussure voire l'intérêt de porter des chaussures. L'ouvrage de Coates et Kolwalchik sur la respiration lors de la course à pied est bien seul au milieu des livres traitant d'autres aspects de ce sport (Coates & Kowalchik, 2013). Du côté de la littérature savante, la respiration lors de la course à pied semble également négligée (Harbour *et al.*, 2022). D'après cette récente revue, une quantité importante de travaux a été réalisée sur la respiration, hors études de pathologies, dans le cadre de pratiques de « bien-être et relaxation » (comme le yoga ou la méditation). Mais peu de travaux ont été réalisés sur la respiration comme outil pour améliorer l'activité physique, notamment la course à pied.

Dans le cadre de ce rapport en vue de la certification de Moniteur de Respiration REBO<sub>2</sub>T, je propose d'abord un état des lieux sur l'importance de la respiration lors de la course à pied, avant de discuter des problèmes respiratoires qui peuvent survenir lors de la course à pied. À partir de cette description, je proposerai une problématique et une évaluation de celle-ci. Enfin, je discuterai des outils respiratoires qui pourraient améliorer les

performances, notamment en augmentant l'endurance, en retardant l'essoufflement et améliorant la perception de l'effort fourni. Cette intervention concerne uniquement la respiration et se veut la plus compatible possible avec les approches d'entraînement à la course à pied (sur la forme de la foulée par exemple) afin de ne pas interférer avec le travail des coachs en course à pied.

## 2. LA RESPIRATION LORS DE LA COURSE À PIED

Sauf précision, les informations dans cette partie viennent de la référence Harbour *et al.*, 2022.

- 2.a. La respiration comme réponse métabolique

La respiration est un processus cellulaire de production d'énergie. Le bilan est la transformation de glucose ( $C_6H_{12}O_6$ ) et de dioxygène ( $O_2$ ) en gaz carbonique ( $CO_2$ ), eau ( $H_2O$ ), et énergie sous forme d'ATP. Lors de l'activité physique, les besoins énergétiques du corps augmentent. La respiration augmente en réponse à ces besoins énergétiques. Comment la respiration augmente-t-elle ? À l'échelle de l'organisme, cela se manifeste par une augmentation de la ventilation. Cette dernière correspond à la vitesse et à l'amplitude auxquelles on gonfle ses poumons. Augmenter la ventilation aura pour conséquence de fournir aux cellules plus d' $O_2$  tout en se débarrassant du  $CO_2$ , assurant ainsi la production d'énergie. Lors de l'activité physique, le volume d'air respiré par minute peut passer de 6 L/min à 150 L/min. Ce paramètre, appelé *ventilation minute*, se

décompose lui-même en *fréquence respiratoire* (nombre de cycle respiratoire par minute) et *volume respiratoire* (litres d'air ventilé lors d'un cycle respiratoire). L'activité physique peut donc provoquer une augmentation de la fréquence respiratoire, du volume respiratoire, ou plus généralement des deux. Lorsque que l'activité physique se met en place, il semblerait que la tachypnée précède l'hyperpnée, régulant ainsi l'homéostasie respiratoire. Le tout s'équilibre en fonction de l'effort selon le « principe de l'effort minimal ». La fréquence respiratoire augmente jusqu'à 35-70 respirations par minute contre 12-20 au repos (Cam, Y., 2022) et le volume respiratoire à 50-60% de la capacité vitale (contre environ 13% au repos). Au-delà de la ventilation minute, d'autres changements s'opèrent quand l'activité physique augmente. On observe typiquement un passage de la respiration nasale vers la respiration buccale quand on dépasse le seuil de 40 L.min<sup>-1</sup>. De plus, le ratio entre durées d'inspiration et d'expiration est modifié. Légèrement, en faveur de l'expiration au repos, il s'équilibre voire privilégie l'inspiration lors de l'activité physique. Cela implique d'ailleurs une régulation des vitesses d'inspiration et d'expiration afin de maintenir un volume respiratoire stable.

- 2.b. La respiration comme aide à la locomotion

Les aspects précédents concernent la réponse respiratoire aux besoins énergétiques, en l'occurrence au métabolisme. Mais la respiration est connectée au système locomoteur, avec lequel elle est synchronisée. Cette synchronisation concerne non seulement les fréquences (synchronisation des fréquences respiration/minute et pas/minute), mais

aussi certaines phases de la ventilation et du mouvement (telles que la synchronisation entre l'impact du pas et la fin de l'expiration). Elle est observée chez de très nombreux animaux. La course à pied consiste précisément à augmenter l'activité du système locomoteur. Il est donc facile d'imaginer que la synchronisation ventilation-locomotion peut être affectée par une telle activité. Contrairement aux quadrupèdes, les humains, du fait de leur bipédie, ont une plus grande liberté de moduler cette synchronisation. La synchronisation ventilation-locomotion semble s'installer naturellement dès lors qu'une activité physique rythmique se met en place (marcher, courir, ramer, etc...). La course à pied présente des aspects assez spécifiques, quant à cette synchronisation. Par exemple, le modèle du « piston viscéral » décrit comment les viscères abdominaux bougent et entraînent le mouvement du diaphragme lors de la course à pied. Si les pas et la respiration sont synchronisés, le piston viscéral va aider le diaphragme. À l'inverse, sans synchronisation, le diaphragme devrait dépenser de l'énergie supplémentaire pour assurer son mouvement. Aider des bras accompagnant le mouvement de la course, ce piston viscéral peut contribuer à 10-12% de la ventilation minute. Il semblerait que cette synchronisation se mette en place relativement spontanément, mais qu'elle puisse néanmoins être affinée par l'intensité, la vitesse d'exécution du mouvement mais aussi par l'entraînement.

### 3. QUAND LA RESPIRATION LIMITE LA COURSE À PIED

Comme nous l'avons vu précédemment, la respiration augmente en intensité en réponse à l'activité physique afin de répondre à la demande énergétique. Ce processus est inconscient et fonctionne dans l'ensemble très bien. Il existe cependant des situations où le système respiratoire est limitant, par exemple dans la haute intensité (au-dessus de 80-85% de la  $VO_{2max}$ ), dans des conditions extérieures spécifiques (hypoxie en altitude, climats trop humide ou trop sec) (Amann, 2012; Archiza *et al.*, 2021; Dempsey *et al.*, 2020). Mais on notera que, malgré une bonne santé et une intensité modérée, entre 20 et 40% des adeptes de la course à pied font l'expérience d'une sensation d'essoufflement. On parle alors de dyspnée induite par l'exercice. Ce phénomène limite la performance physique, ce qui installe un état psychologique négatif, qui renforce la sensation d'essoufflement... et ces trois composantes (essoufflement, baisse de performance, état psychologique négatif) se renforcent mutuellement. Harbour *et al.* (2022) formulent l'hypothèse que, hors état pathologique particulier, la plupart des expériences d'essoufflement induit par l'exercice trouve leur origine (du moins en partie) dans une respiration sous-optimale, ou dysfonctionnelle, et décrivent trois dysfonctionnements du système respiratoire lors de l'activité physique.

- 3.a. L'hyperinflation des poumons

L'augmentation de la ventilation lors de l'exercice physique peut induire une relative obstruction du larynx, par des principes de physique, tel le principe de Bernouilli. Cela est particulièrement problématique lors d'efforts de haute intensité, mais jusqu'à 20% des sportifs peuvent en faire l'expérience en intensité modérée (notamment chez les athlètes



de haut-niveau, les femmes, les adolescents et les personnes en surpoids). Ce phénomène peut être favorisé par une respiration thoracique dominante et une hypertonicité des muscles abdominaux (qui gêne la respiration abdominale et favorise la respiration thoracique). Cette obstruction va perturber le flux d'air et peut provoquer un phénomène « d'empilement des cycles respiratoires » : les inspirations prennent le dessus sur les expirations, ne permettant plus aux poumons de revenir à un volume de base. On aboutit alors à une hyperinflation des poumons : ces derniers sont constamment « surgonflés ». Le problème d'une telle configuration est que les parois pulmonaires ont alors peu d'élasticité et la ventilation va demander de fournir plus d'effort. De plus, le diaphragme a alors peu de mobilité et est peu efficace pour participer à l'effort de ventilation. Cette situation est ainsi contre-productive : la ventilation augmente initialement pour combler une hausse de demande énergétique, mais cette même ventilation demande de plus en plus d'efforts, qui viennent empirer la dépense énergétique totale, et finalement l'organisme ne parvient pas à combler cette dépense.

- 3.b. Le détournement du sang

Le sang achemine l'O<sub>2</sub> vers les différents systèmes dans l'organisme qui l'utilisent pour produire de l'énergie en fonction des besoins. L'expression « détournement du sang » désigne comment différents systèmes peuvent se disputer les ressources énergétiques disponibles. Lors d'une course à pied, le système locomoteur consomme plus d'énergie. Pour produire cette énergie, il est alimenté par les systèmes respiratoire et

cardiovasculaire. Mais ces derniers ont également besoin d'énergie. Quand tout se passe bien, il y a une relative harmonie entre les systèmes, permettant en bout de chaîne au système locomoteur de monter en intensité. Or, dans certaines conditions, la distribution de ces ressources n'est plus efficace et va, typiquement, pénaliser le système locomoteur et les performances de course. Cette « brisure d'harmonie » peut être provoquée par différents événements. Par exemple, lors d'un effort intense, l'augmentation de la pression intra-thoracique peut affecter négativement les performances cardiaques, et donc le sang aura plus de difficultés à alimenter les membres. De plus, les muscles de la ventilation peuvent devenir de plus en plus gourmands en énergie si un effort intense est maintenu. Le diaphragme, qui consomme 3-5% de l'O<sub>2</sub> total lors d'un effort modéré, va arriver à une consommation de 10-16%. Il faut ajouter à cela celle des autres muscles respiratoires. Cela peut provoquer un relatif détournement du sang alimentant les membres du système locomoteur vers les muscles respiratoires. On appelle ce phénomène le métaboréflexe. Enfin, on peut signaler que l'hyperinflation décrite ci-dessus participe probablement à ce phénomène étant donné qu'elle impose une surcharge énergétique au système. Ce détournement des ressources énergétiques pénalise le système locomoteur et par-là l'expérience de la course à pied.

- 3.c. L'hyperventilation

Comme cela a été expliqué précédemment, un effort physique va augmenter l'activité du système respiratoire afin de pallier les besoins énergétiques. Cette augmentation se

caractérise par une augmentation de la fréquence et de l'amplitude respiratoire. Dans la grande majorité des cas, la réponse du système respiratoire est adaptée à la demande. Mais dans certains cas, le système « s'emballe » en quelque sorte. En effet, il se peut que, afin de fournir un volume d'air adéquat par minute, la fréquence respiratoire soit favorisée au détriment de l'amplitude. Il semblerait que les femmes soient plus prédisposées à cela, en raison notamment d'un volume pulmonaire en moyenne plus petit. Cela tend ainsi à accélérer la respiration, la capacité pulmonaire critique étant plus vite atteinte. De plus, la course à pied, en comparaison à d'autres activités, favoriserait la fréquence respiratoire relativement à l'amplitude. Cela viendrait notamment du fait que le diaphragme doit assurer deux fonctions antagonistes entre engagement dans le maintien postural et mobilité pour la ventilation. Mais aussi la rythmicité de la course à pied tendrait à imposer au pratiquant une cadence qui favorise une plus grande fréquence plutôt qu'une plus grande amplitude. D'ailleurs, cela semble être encore plus marqué dans les pentes (20-30% de gradient) où la coordination thoraco-lombaire est diminuée, affectant la ventilation en conséquence. Or, une fréquence respiratoire trop élevée, quand le système s'emballe trop, peut aboutir à une hyperventilation. Cette dernière est caractérisée par une diminution de la teneur en  $\text{CO}_2$  dans le sang. Par un mécanisme purement biochimique, l'effet Bohr, les tissus périphériques sont alors moins alimentés en  $\text{O}_2$  et la fatigue du système locomoteur s'installe plus rapidement. De plus, une faible teneur en  $\text{CO}_2$  dans le sang tend à atteindre un plafond d'amplitude respiratoire plus précoce. Ceci sera donc compensé en augmentant la fréquence, encourageant un cercle vicieux. Enfin, une haute fréquence respiratoire peut favoriser la mise en place de

l'hyperinflation des poumons, comme cela a été expliqué plus haut. Au final, l'hyperventilation va avoir un impact négatif sur la pratique de la course à pied.

## 4. .PROBLÉMATIQUE ET STRATÉGIE

- 4a. Présentation et limitations

Je propose de suivre des coureuses et des coureurs à pied pendant une période de six mois afin de voir si les outils respiratoires présentés ci-dessous améliorent leurs performances ainsi que leur plaisir et leurs sensations. Les problèmes vus ci-dessus perturbent à la fois l'équilibre  $O_2$ - $CO_2$  lors de l'effort et peuvent provoquer une dyspnée, qui entraîne un inconfort plus ou moins important affectant l'expérience psychocognitive. Une mauvaise expérience est plus à même de diminuer la motivation et de décourager le sujet. À l'inverse, une expérience agréable doit permettre au sujet de continuer la pratique sur le long terme, ce qui laisse plus de place à la progression et augmente les bénéfices sur la santé.

Idéalement, l'intervention décrite ci-dessous, en partie 5, se ferait sur une cohorte d'adeptes de la course à pied assez nombreux pour pouvoir répartir, par tirage au sort, les sujets du groupe contrôle et ceux de l'intervention dans deux groupes homogènes en terme de ratio hommes/femmes, âges moyens, niveau de forme physique, kilomètres parcourus par semaine, nombre de séances par semaine. Autre point, il serait plus intéressant d'étudier des sujets qui sont déjà des coureuses et des coureurs réguliers afin

de voir si une telle intervention peut « débloquer » des sujets ayant atteint un plateau de performances. La plupart des programmes de préparation à un marathon s'étale sur 16 à 20 semaines, avec 3 ou 4 séances de courses à pied par semaine. Un programme sur six mois doit permettre d'introduire les outils graduellement en commençant avant la préparation au marathon proprement dite et en construisant au fil de la préparation. Derrière cette stratégie très graduelle, il y a une volonté de ne pas nuire à la préparation que les sujets décident de suivre (qui consiste typiquement à augmenter la charge de travail au fil des 16 à 20 semaines). Introduire trop d'outils en même temps, notamment en seconde partie de préparation, lorsque les distances et les vitesses à tenir sont cruciales, risqueraient de décourager le sujet de mettre en place les outils respiratoires. Le risque serait de voir les sujets abandonnés des outils respiratoires pour se concentrer sur les distances à parcourir chaque semaine. Comme dans toutes interventions, s'assurer de l'observance du protocole est la fondation qui permettra de conclure si celui-ci est bénéfique ou non.

Afin d'évaluer le succès de l'intervention, je propose de soumettre les sujets à deux tests : un test objectif d'évaluation de l'endurance et un test subjectif afin d'estimer les effets sur l'expérience psycho-cognitive. Enfin, il est important de souligner qu'une telle intervention comporte des limitations. En effet, différents outils seront mis en place et il ne sera pas simple de déterminer avec certitude les bénéfices éventuels apportés par tels outils ou un autre. En outre, ce type d'intervention étant difficile à réaliser aveugle, il est

possible que les effets observés soient en partie contaminés par les effets placebo et nocebo.

- 4b. Test objectif

La consommation maximale d'oxygène ( $VO_{2max}$ ) correspond au volume maximal d' $O_2$  que l'organisme peut consommer. Elle s'exprime en  $L \cdot min^{-1}$  ou en  $L \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$  si on normalise par la masse corporelle de l'athlète. La production d'énergie par voie aérobie est grandement plus efficace que par la voie anaérobie, avec des ratios respectifs de 38 et 2 moles d'ATP produites par mole de glucose. Une grande  $VO_{2max}$  est ainsi un bon indicateur de la performance en course d'endurance et c'est un indicateur sur lequel les athlètes travaillent afin de l'améliorer. Mais pour l'améliorer, il faut le connaître et donc pouvoir le mesurer. Estimer la  $VO_{2max}$  n'est pas chose aisée si l'on n'a pas accès à un laboratoire et le matériel adéquat. Mais une bonne estimation de la  $VO_{2max}$  peut être obtenue en mesurant la vitesse maximale aérobie (VMA). La VMA correspond à la vitesse lorsque la  $VO_{2max}$  est atteinte. La VMA peut être mesurée par plusieurs tests, dont le test sur piste de l'Université de Montréal (UM-TT, *Université de Montréal – Track Test*) (Léger & Boucher, 1980).

- 4c. Tests subjectifs

Tout au long de la préparation, il serait intéressant d'avoir régulièrement une mesure de la perception de l'effort (Borg, 1982) après une séance, notamment sur un parcours

identique, et à mettre en parallèle avec des données objectives sur la course tels que le temps ou la vitesse. Cela pourrait permettre de voir si l'expérience psycho-cognitive du sujet est impacté par l'intervention, et cela pourrait donner une idée de la fréquence d'essoufflement des sujets au cours de la préparation.

Également, un questionnaire généraliste sur la qualité de vie avant et après la préparation permettrait d'avoir une vue d'ensemble sur les sujets, au-delà des performances athlétiques pures. Le questionnaire WHOQOL-BREF pourrait être utilisé dans ce cadre (The WHOQOL Group; 1998).

## 5. OUTILS RESPIRATOIRE POUR LA COURSE À PIED

Deux types d'outils respiratoires sont proposés dans ce protocole. Le premier type concerne les outils qui doivent être mis en place progressivement afin d'être intégrés comme une respiration *naturelle* lors de la course à pied. Le second type d'outil concerne des exercices à pratiquer uniquement lors de l'entraînement et pas pendant les séances de course à pied stricto sensu. La respiration explosive de la méthode REBO<sub>2</sub>T, que je propose dans l'intervention, sera quant à elle dans une catégorie hybride.

- 5a Adopter une forme respiratoire efficace

Sauf précision, les informations dans cette partie viennent de la référence Harbour *et al.*, 2022.

On notera alors que les outils respiratoires proposés n'ont pas tous fait l'objet de tests en bonne et due forme. Ainsi, il s'agit parfois de spéculations raisonnables plutôt que de protocoles éprouvés, notamment en situation de course à pied. Ils sont néanmoins proposés de façon raisonnable car inspirés de travaux basés sur la physiologie générale, ou sur d'autres sports tels que le cyclisme ou la natation.

### *Ralentir la fréquence respiratoire*

Comme cela a été expliqué dans la partie précédente, une haute fréquence respiratoire peut apporter des problèmes lors d'un effort (*cf. L'hyperventilation*). De plus, il semblerait qu'une respiration lente soit moins consommatrice d'énergie. Mais surtout, ralentir la respiration force naturellement l'athlète à compenser en augmentant le volume respiratoire. Pour des raisons purement mécaniques, cela va augmenter l'efficacité de la ventilation : une plus grande partie de l'air respirée parviendra aux alvéoles pulmonaires. En effet, le volume minute est égal au produit de la fréquence respiratoire et de l'amplitude respiratoire. Donc afin de conserver un volume minute stable, une baisse de la fréquence implique une augmentation de l'amplitude. Or, quand on respire un certain volume d'air, l'intégralité de cet air ne parvient pas aux alvéoles. Un certain volume est inutilisable. Il s'agit du *volume mort*. Respirer plus amplement va « diluer » l'impact de ce volume mort du système respiratoire. Toujours sur des considérations mécaniques, plusieurs études ont montré que, lors d'efforts modérés, l'amplitude respiratoire était assez plastique. Cependant, à haute intensité, l'amplitude maximale est atteinte et seule



la fréquence respiratoire peut augmenter pour survenir à la demande énergétique. Donc, le ralentissement de la fréquence respiratoire est une stratégie vraisemblablement plutôt adaptée à l'intensité modérée.

Un autre intérêt à ralentir la fréquence respiratoire durant l'effort concernerait l'effet sur le système nerveux. Lorsque la respiration est lente, l'effort est perçu comme moins intense et les ressources mentales sont plus disponibles. Dans l'ensemble, l'athlète peut ainsi éprouver une plus grande maîtrise et un plus grand plaisir lors de l'effort.

Enfin, les auteurs de l'article préconisent d'utiliser également la fréquence respiratoire comme un indicateur de l'effort. Lors d'une course, maintenir une vitesse constante peut être crucial. En maintenant une amplitude respiratoire constante (à 60% de la capacité utile) et une fréquence respiratoire constante (en s'aidant de la cadence des pas ou d'un enregistrement audio par exemple), la moindre accélération aura pour effet de créer un léger essoufflement. L'athlète aura ainsi un signal pour ralentir.

Face aux manques de données actuelles sur cette stratégie, les auteurs insistent sur l'importance de l'explorer prudemment et au cas par cas.

### *Respirer profondément*

Ci-dessus, nous avons vu que, mécaniquement, diminuer la fréquence respiratoire a pour conséquence d'augmenter l'amplitude respiratoire. Cette augmentation du volume se fait en engageant les muscles de la respiration. Ceux-ci peuvent être inspiratoires ou expiratoires, principaux ou accessoires. Selon les muscles utilisés, la forme respiratoire sera plutôt à dominante abdominale ou thoracique. La respiration abdominale consiste à

engager principalement le diaphragme. Cette respiration tend à ralentir la fréquence cardiaque, à améliorer le stress oxydant post-exercice, le contrôle de la posture et la pression artérielle. À l'inverse, une respiration à dominante thoracique (qui utilise peu le diaphragme et plus les muscles accessoires) est associée à une limitation du flux respiratoire, à un plus gros effort pour respirer, à de l'hyperventilation et à une moindre stabilité posturale. De plus, un contrôle des différents niveaux de la respiration pourrait permettre de mieux exploiter les volumes respiratoires, afin d'affiner la relation initiale entre fréquence et amplitude décrite plus tôt. Ceci étant dit, les bénéfices concernant l'engagement du diaphragme sont assez bien connus en général mais très peu étudiés en ce qui concerne l'activité physique. En outre, engager le diaphragme pendant l'effort peut sembler assez contre-intuitif pour un athlète, surtout après des années d'automatisme. À mon sens, cet outil nécessite une phase de travail hors-effort assez importante. Toujours est-il que, si les bénéfices de la respiration abdominales peuvent effectivement être transposés lors de la course à pied, on peut imaginer que cela pourrait limiter les risques d'essoufflements favorisés par la respiration thoracique, en plus d'apporter plus de contrôle sur l'effort et la coordination thoraco-lombaire.

### *Respirer par le nez*

L'adaptation à la respiration nasale lors de la course à pied a été étudiée sur une petite cohorte de dix sujets. Ces derniers ont couru pendant 6 mois en respiration nasale. Leurs performances et données respiratoires ont été comparées ensuite lors de test de course en respiration orale ou nasale (Dallam *et al.*, 2018). Il s'est avéré que la respiration nasale

permet de soutenir un effort à 85% de la  $VO_{2max}$ , comparable aux performances en respiration orale, tout en réduisant la consommation d' $O_2$  d'environ 5%. Les sujets sont plus énergétiquement efficaces. D'ailleurs, même s'il a été rapporté de façon anecdotique que l'adaptation à la respiration nasale lors de l'activité physique pouvait se faire en 2 à 3 mois, la période présentée dans cette étude m'a incité à choisir cette durée de six mois afin de me baser sur des données publiées et d'avoir moins d'impact sur la préparation au marathon. La respiration nasale, par opposition à la respiration buccale, présente de nombreux avantages. C'est pourquoi elle fait figure de priorité lors de l'enseignement de la respiration. Décrire ses avantages nécessiterait un article entier. Citons le fait que le flux nasal conditionne l'air qui va dans les poumons (température, humidité) et le filtre. De plus, on se déshydrate moins en respirant par le nez : en passant d'une expiration nasale à une expiration buccale, la perte d'eau augmente de 42% (Svensson *et al.*, 2006). En outre, la respiration nasale stimule la production de monoxyde d'azote, un gaz vasodilatateur qui favorise les échanges gazeux, et bronchodilatateur qui ouvre les voies respiratoires. Le monoxyde d'azote a également une action antibactérienne et antivirale, qui peut être évidemment très utile dans les voies respiratoires. L'utilisation du nez permet également un meilleur maintien postural au niveau de la tête, et impacte la mécanique glotopharyngée. Transposé à l'effort, cela pourrait éviter le phénomène d'obstruction du larynx induite par l'exercice (cf. *L'hyperinflation des poumons*). La respiration nasale est également associée à de meilleures fonctions cognitives au repos, un bénéfice a priori souhaitable lors d'un effort. Historiquement, il a été observé que lorsque le volume minute dépasse environ  $40 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ , la respiration nasale laisse place à

la respiration buccale. Même si les données sont encore balbutiantes, il semblerait que le corps soit beaucoup plus flexible. Une étude a montré que, même à 85% de la  $VO_{2max}$ , les sujets arrivaient à maintenir la respiration nasale. Une autre étude a montré que les athlètes en respiration nasale arrivaient à produire une même puissance qu'en respiration incontrôlée mais en respirant plus lentement, en réduisant l'hypocapnie et en augmentant le monoxyde d'azote. On a déjà vu que respirer plus lentement pouvait être une stratégie bénéfique. Et on a aussi vu que l'hypocapnie pouvait être problématique (cf. *L'hyperventilation*). À propos du monoxyde d'azote, il se pourrait que ce dernier soit la clé de l'adaptation à l'effort en respiration nasale. En effet, cette voie permet un flux d'air plus restreint que par la bouche. Mais la production de monoxyde d'azote permettrait « d'ouvrir » les voies respiratoires et de permettre à la respiration nasale de répondre pleinement aux besoins énergétiques. Ce phénomène se met en place, au moins partiellement, et peut être observé dès la première séance. Mais l'adaptation complète à l'effort en respiration nasale semble plutôt prendre 10 à 12 semaines, voire 6 mois. Le principal point d'interrogation sur cet outil concerne le fait que cette forme respiratoire va favoriser l'engagement du diaphragme. Comme vu précédemment, cela est a priori souhaitable. Mais il est possible que la charge de travail supplémentaire supportée par le diaphragme provoque une fatigue de ce dernier (cf. *Le détournement du sang*). Donc, il est recommandé d'explorer cet outil prudemment et progressivement, afin de renforcer ce muscle au même titre que les autres.

Cet outil est particulièrement facile à mettre en place – du moins techniquement - par l'adepte de la course à pied, par un effort conscient, en passant de plus en plus de temps

en respiration nasale lors de ses sorties. Il est assez probable que les bénéfices de la respiration nasale par le conditionnement et le filtrage de l'air, mais aussi sur la posture de la tête et les fonctions cognitives soient transposables lors de l'effort : meilleure santé des voies respiratoires, meilleure posture et meilleure cognition, moindres risques d'obstruction du larynx et d'hyperventilation, meilleur engagement du diaphragme. Le seul point limitant concerne « l'ouverture » des voies respiratoires afin de permettre un flux d'air suffisant. Mais ce point peut a priori se résoudre en quelques mois d'entraînement.

### *Forcer l'expiration*

Au repos, la respiration est en général assez équilibrée entre le temps passé à inspirer et le temps passé à expirer. Elle peut être même légèrement déséquilibrée en faveur de l'expiration, ce qui est à mon avis souhaitable (Cam, 2022). Lors de l'effort, en revanche, il est fréquent que l'équilibre se déplace vers l'inspiration au détriment de l'expiration. Dans certains cas, cela peut engendrer des limitations (cf. *L'hyperinflation des poumons* et *L'hyperventilation*). Maintenir l'équilibre en faveur de l'expiration est un outil bien connu des pratiquants de respirations conscientes. Ces motifs respiratoires agissent sur le système nerveux autonome et permettent un état de relaxation. Il semblerait que ces effets soient transposables au contexte de l'effort. Une étude, sur des cyclistes, a en effet montré qu'un motif respiratoire favorisant l'expiration améliorerait la variabilité cardiaque, l'efficacité de la ventilation et la consommation d'O<sub>2</sub>. Par ailleurs, forcer l'expiration consiste à accentuer l'utilisation des muscles expiratoires, et notamment les couches

profondes des muscles abdominaux. En termes de biomécanique, une telle expiration permet au diaphragme d'augmenter passivement son amplitude de mouvement. Elle permet une meilleure répartition du travail avec le diaphragme qui se fatigue donc moins rapidement (cf. *Le détournement du sang*). En outre, l'action de ces muscles expirateurs aura un impact positif sur la stabilisation de la posture. Enfin, les auteurs font l'hypothèse que ce partage de la respiration qui insiste sur l'expiration pourrait éviter d'observer une pression intra-thoracique trop importante qui limiterait les performances du cœur.

Lors de l'effort, en général, l'athlète va naturellement engager ces muscles expiratoires de façon plus prononcée qu'au repos. La mise en place de cet outil consiste donc à forcer ce mécanisme, par exemple en essayant de chasser plus d'air des poumons qu'on ne le ferait instinctivement. C'est pourquoi cet outil, même assez simple, peut apparaître un peu contre nature et demande peut-être un peu plus de temps à être assimilé. Les auteurs de l'article proposent même de mettre en place cet outil en y associant une vibration nasale, comparable à la respiration de l'abeille au yoga (*Bhramari Pranayama*). Cela peut aider à ralentir l'expiration tout en décuplant la production de monoxyde d'azote dans les fosses nasales, et favoriser notamment l'ouverture des voies respiratoires (cf. *Respirer par le nez*). Notons que cet outil semble donner de bons résultats dans le cadre de l'alpinisme (rythme cardiaque plus bas, moins de fatigue...), même si plus d'études sont nécessaires pour confirmer ces observations.

*Synchroniser la ventilation et la locomotion*

Le nombre de pas par cycle respiratoire a été bien étudié, notamment dans le cadre de la course à pied. Ce ratio est assez variable : les valeurs 3, 4, 5, 6 et 8 ont été rapportées. Comme on l'a vu précédemment, cette synchronisation apporte des bénéfices et semble se mettre en place spontanément (cf. *La respiration comme aide à la locomotion*). Mettre en place cet outil, en forçant une synchronisation différente de celle que l'on observerait spontanément, peut être une stratégie de mise en place du premier outil décrit, à savoir *ralentir la respiration* comme décrit ci-dessus. En effet, il peut être compliqué de compter le nombre de respiration par minute, surtout en courant. En revanche, un athlète qui met en place une cadence, par exemple de 180 pas par minute, pourra faire coïncider une fréquence respiratoire donnée avec cette cadence. Il a même été proposé que des variations de la fréquence respiratoire, sur une cadence constante, peuvent être utilisées comme les vitesses d'une voiture. Une application de cette synchronisation entre ventilation et locomotion est de privilégier un ratio impair, tel que 5 ou 7 pas par respiration. L'idée derrière cela concerne la prévention du point de côté. Les causes de ce phénomène ne sont pas totalement claires mais on sait qu'il touche environ 70% des adeptes de la course à pied. On pense que le nerf phrénique, qui stimule la contraction du diaphragme, pourrait être irrité par la répétition de la fin de l'expiration coïncidant avec un impact du pied droit sur le sol. Un ratio impair, de 5 ou 7 pas par respiration, permettrait de terminer l'expiration sur un impact au sol alternant pied gauche et pied droit. Au-delà du point de côté, on peut imaginer que l'alternance du pied d'impact au sol pourrait soulager mieux répartir l'usure au niveau des hanches. Enfin, il est probable que synchroniser la respiration et la locomotion ait un effet bénéfique sur le plan

psychologique. Cela aiderait l'athlète à entrer dans un *flow* lancinant et immersif, entraînant un état de relaxation. Ce dernier aurait alors pour conséquence de diminuer la dépense énergétique et donc d'économiser cette énergie précieuse notamment lors des longues distances.

- 5b Outils respiratoires de préparation

#### *L'entraînement en hypoventilation*

Sauf indication, les informations de cette section sont tirées de l'ouvrage de X. Woorons, *Hypoventilation Training, Push Your Limits!* (Woorons, 2014).

*N.B.* : Durant l'entraînement en hypoventilation, le rythme cardiaque et la pression artérielle augmentent, en comparaison d'un entraînement normal. L'entraînement en hypoventilation est ainsi déconseillé en cas d'hypertension. L'avis du médecin est alors recommandé.

L'hypoventilation est une ventilation qui est insuffisante pour combler les besoins respiratoires de l'organisme. L'équilibre des gaz respiratoires est alors perturbé : dans le plasma comme dans les alvéoles pulmonaires, l'O<sub>2</sub> diminue et le CO<sub>2</sub> augmente pour aboutir à une situation hypoxémique hypercapnique. L'entraînement en hypoventilation consiste ainsi à induire un tel déséquilibre en diminuant volontairement la ventilation. Techniquement, lors de l'effort, cela consiste à alterner des phases de rétention du



souffle avec des phases de récupérations. Historiquement, les athlètes d'Europe de l'Est, dont l'illustre Zatopek, ont été les premiers à expérimenter les rétentions du souffle durant l'effort, dans les années 1950. À l'Ouest, la natation et la course à pied ont ensuite utilisé des techniques similaires. Mais il a fallu attendre les années 1990 et surtout 2000 pour que des protocoles d'études scientifiques soient mis en place pour étudier ces techniques. Un pas déterminant a été franchi à l'Université Paris 13 dans les années 2000. En effet, un protocole de rétention du souffle post-expiration a été proposé, au lieu de la rétention sur poumons pleins, après l'inspiration, comme cela se faisait auparavant. Ce protocole permet d'observer des changements physiologiques rapides : hypoxémie sévère (la SaO<sub>2</sub> tombe facilement de ≈97% à ≈87%), hypercapnie (PCO<sub>2</sub> à 50mmHg au lieu de 40mmHg) et acidose. Cette dernière est d'ailleurs à la fois respiratoire (due à l'augmentation de la PCO<sub>2</sub>) et métabolique (l'hypoxémie entraînant la glycolyse anaérobie et la production de lactate). Il semblerait d'ailleurs que l'hypoxie, l'hypercapnie et l'acidification soit encore plus importantes dans les tissus musculaires que dans le sang. De plus, ces effets sont d'autant plus importants que les rétentions du souffle sont poussées (Woorons *et al.*, 2021). Il en ressort que ce type d'entraînement améliore l'utilisation de l'O<sub>2</sub> par les muscles (teneur en myoglobines, en mitochondries, densité en capillaires...) mais aussi la réponse des muscles à l'acidification induite par l'anaérobie (augmentation l'expression de l'anhydrase carbonique et du transporteur à monocarboxylate 1) (Woorons, 2014). La réoxygénation des muscles lors des phases de récupération serait également meilleure (Lapointe *et al.*, 2020). En stimulant la production de composés tampon (phosphate, protéines...), ces exercices entraînent les

muscles à neutraliser l'acidification liée à l'accumulation de lactate, retardant ainsi la fatigue. Les flux transmembranaires de potassium auraient également un rôle et seraient impliqués dans la moindre fatigue musculaire observée (Lapointe *et al.*, 2020). En revanche, concernant l'acheminement de l'O<sub>2</sub> vers les muscles, les études actuelles n'ont pas permis d'établir une amélioration. Malgré l'augmentation de l'EPO, l'hématocrite n'augmente pas (Woorons, 2014; Park *et al.*, 2022). L'entraînement en hypoventilation expose l'athlète à l'hypoxie de façon intermittente, sur des durées a priori trop courtes pour observer un effet sur la composition du sang (Albertus-Càmara *et al.*, 2022). Le principal bénéfice de l'entraînement en hypoventilation confirmé scientifiquement à ce jour, concerne donc la meilleure résilience des muscles face à l'acidose, qui a priori détermine l'état de fatigue vis-à-vis de l'effort. Ainsi, un tel entraînement permet d'augmenter sa capacité à enchaîner les sprints (Fornasier-Santos *et al.*, 2018; Woorons *et al.*, 2019, Lapointe *et al.*, 2020).

À l'heure actuelle, les études n'ont pas abouti à un consensus sur d'éventuels bénéfices dans les sports d'endurance. Donc pourquoi proposer un tel entraînement dans le cadre d'une préparation au marathon, voire à l'ultra-marathon ? Ces activités ne sont-elles pas les épreuves iconiques de l'endurance ? Mais selon le tracé, le dénivelé ou même la stratégie de course, l'accumulation de lactate dans les muscles est plus ou moins importante. La régulation de l'équilibre acido-basique qui est typiquement menacé quand l'intensité augmente au-delà de la VO<sub>2max</sub>, ce qui peut arriver dans certaines phases de la course. On peut donc spéculer qu'un tel entraînement permette à l'athlète d'être plus

résilient par rapport aux phases de courses générant de l'acidose : gérer une côte, doubler un concurrent, notamment en fin de course quand l'épuisement guête. Enfin, d'un point de vue plus subjectif, ce type d'entraînement comporte une composante mentale consistant à se mettre dans des situations de suffocations. On peut spéculer que cette pratique peut apporter plus de résilience mentale lors de la course.

Enfin, même s'il ne semble pas y avoir à l'heure actuelle de consensus solide sur les effets de l'entraînement en hypoventilation sur l'endurance, certaines études semblent indiquer que des protocoles d'entraînement en hypoventilation pourraient en fait améliorer la  $VO_{2max}$ . Notamment, des programmes de 6 semaines d'entraînement en hypoxie intermittente en haute intensité (90% de la  $VO_{2max}$ , 90-95% de la fréquence cardiaque maximale) ont montré une amélioration de la  $VO_{2max}$  (Dufour *et al.*, 2006; Park *et al.*, 2022). Par ailleurs, il a été montré que, lors d'un entraînement en hypoventilation, la fréquence cardiaque était réduite. Cette adaptation physiologique est partiellement compensée par une augmentation du volume d'éjection systolique (Woorons *et al.*, 2021b). Les auteurs de cette étude font l'hypothèse qu'un tel entraînement pourrait favoriser une plus grande compliance ventriculaire. On peut ainsi faire qu'une telle adaptation pourrait être bénéfique pour les courses de longues distances. Une autre étude a montré des bénéfices de l'entraînement en hypoventilation sur l'endurance à la course à pied lorsque l'entraînement est réalisé à vélo (Woorons *et al.*, 2020). Dans cette étude, six séances en trois semaines (à vélo) ont permis d'améliorer les scores au test *Yo-Yo Intermittant Recovery Level 1* de 32%. Ce test a par ailleurs été montré comme corrélé

à la  $VO_{2max}$ . Cette amélioration pourrait être liée à l'adaptation de l'activité cardiaque mentionnée ci-dessus. On notera d'ailleurs que cette étude soulève l'importante question de l'entraînement spécifique : pour se préparer à la course à pied, vaut-il mieux s'entraîner en hypoventilation en courant ou en vélo ? Avec prudence, je répondrais : les deux. En effet, l'entraînement spécifique (en courant donc) aura pour intérêt de contribuer à l'adaptation des muscles spécifiques à la course à pied pour gérer l'acidification. L'entraînement en vélo, en plus de proposer une alternative bienvenue pour limiter les impacts à répétitions, favoriserait les effets sur l'endurance.

#### *La respiration explosive de la méthode REBO<sub>2</sub>T*

Les transverses et obliques internes abdominaux sont importants pour assurer une bonne efficacité respiratoire. En effet, ces muscles sont les muscles expirateurs principaux. Si la respiration au repos mobilise principalement les muscles inspireurs, l'expiration se faisant alors en relaxant ces derniers, il en va autrement pour la respiration dans le cadre de l'activité physique. D'une part, la sensation d'essoufflement survient quand le  $CO_2$  s'accumule dans les poumons et le sang. Afin de diminuer cette teneur en  $CO_2$ , il peut être intéressant d'étendre l'expiration au-delà du volume courant, vers le volume expiratoire de réserve. Cela permettra de renouveler plus rapidement l'air stagnant dans les poumons et diminuer ainsi la  $PCO_2$  dans le sang, et ainsi de diminuer la sensation d'essoufflement. D'autre part, l'engagement du diaphragme lors de l'inspiration permet d'augmenter la pression intra-abdominale. Celle-ci soutient alors les vertèbres lombaires et un tel soutien est a priori souhaitable lors de la course à pied. Mais pour que cette

pression abdominale augmente, il faut que les viscères abdominaux soient contenus par un minimum de tonus musculaire des muscles expirateurs. Trop d'engagement de la part des transverses et obliques internes entraverait la course du diaphragme, mais on peut imaginer d'un tonus de base est nécessaire à la génération d'une pression intraabdominale utile pour soutenir les lombaires. Par ailleurs, lors de l'expiration, la pression intraabdominale diminue. Le soutien des lombaires est alors assuré par la ceinture abdominale. Il est alors évident que l'engagement des muscles expiratoires est important. Les points importants relatifs à cet aspect ont été discutés ci-dessus dans la section sur l'outil respiratoire *Forcer l'expiration*. Mais il y a plus : un tonus musculaire de base des muscles expirateurs permet également d'obtenir une meilleure efficacité inspiratoire. En effet, si la pression abdominale n'augmente pas assez, l'expansion de la cage thoracique au niveau de côtes inférieures est compromise (Perry *et al.*, 2010). Ces observations ont été réalisées sur des personnes sans aucun tonus musculaire abdominal, car tétraplégiques (Estenne & De Troyer, 1987). On peut néanmoins spéculer sur l'importance de ce tonus musculaire pour assurer une inspiration efficace dans le cadre de la course à pied. La respiration explosive de la méthode REBO<sub>2</sub>T est un excellent exercice pour assurer le tonus des muscles expirateurs. À ce titre, elle peut être utilisée comme exercice de préparation et de renforcement en vue de mettre une place une respiration efficace lors de la course à pied : assurer le tonus des muscles expirateurs afin d'assurer le renouvellement de l'air dans les poumons, la stabilisation de la posture et l'efficacité de l'expiration mais aussi de l'inspiration.

## 6. CONCLUSION

Dans un premier temps, nous avons vu que, lors de la course à pied, la dépense énergétique et la vitesse de locomotion augmentent. La fréquence et les volumes respiratoires s'adaptent en réponse et permettant de produire de l'énergie. Au-delà du métabolisme, la chaîne respiratoire facilite la locomotion. Cette adaptation se fait en général bien. Mais dans certains cas, une faiblesse et/ou une mauvaise utilisation de sa chaîne respiratoire peuvent provoquer hyperinflation des poumons, détournement du sang et hyperventilation. Il est intéressant de noter que ces trois problèmes peuvent être interconnectés et peuvent se renforcer entre eux. La respiration est alors limitante et cela va provoquer la dyspnée. À partir des mécanismes principaux d'une respiration dysfonctionnelle pouvant limiter la course à pied, nous pouvons nous poser la question : existe-t-il des outils respiratoires qui peuvent être mis en place afin que la respiration ne soit pas limitante ?

Beaucoup de ces outils correspondent à la base de la respiration naturelle/complète/ que l'on retrouve dans l'école de respiration REBO<sub>2</sub>T. Certains de ces outils sont donc cruciaux à mettre en place hors du contexte de l'effort physique, en l'occurrence la respiration nasale, à dominante abdominale et réalisée lentement. En outre, il est intéressant de voir que les outils décrits dans l'article de Harbour et collaborateurs sont en fait tous interconnectés : *respirer par le nez* va favoriser l'engagement du diaphragme (*respirer*

*profondément*) et cela va a priori *ralentir la respiration*. De même, se concentrer sur le rythme respiratoire va facilement intégrer la fréquence respiratoire (*ralentir la respiration*) et la *synchronisation ventilation-locomotion*. *Forcer l'expiration* va permettre de *ralentir la respiration* en insistant sur l'expiration tout en imprimant une cadence respiratoire spécifique, qui va permettre de travailler de travailler sur la *synchronisation ventilation-locomotion*. De plus, *forcer l'expiration* peut aussi permettre de travailler sur le rebond du diaphragme afin d'engager ce dernier de façon plus ample (*respirer profondément*). Ainsi, il est probable que la mise en place d'un outil rende plus facile la mise en place des autres, ce qui est une bonne nouvelle. On notera que ces outils sont relativement simples à mettre en œuvre. Respirer par le nez ne nécessite pas de connaissance technique particulière. Juste de la pratique. Pareillement, compter ses pas sur l'inspiration et l'expiration est à la portée de tout le monde. En ce qui concerne la mécanique respiratoire proprement dite, et notamment l'engagement du diaphragme, cela peut nécessiter un peu plus de travail, voire beaucoup selon les personnes. Il sera difficile pour une personne de mettre en place l'engagement du diaphragme si elle est tendue dans certaines zones. Et il sera alors difficile de ralentir la respiration. La pratique de la respiration explosive devrait aider à mobiliser cette zone, mais des solutions complémentaires sur les tensions mécaniques (étirements, massages) pourront être proposés. Au terme de cette préparation, il serait intéressant de proposer aux participant(e)s de finaliser l'intégration de ces outils en construisant la posture et le mouvement autour de la chaîne respiratoire, tel que cela est préconisé selon les principes de la méthode REBO<sub>2</sub>T. Cela permettrait de voir notamment si les athlètes économisent

de l'énergie en courant de cette façon. Par exemple, une meilleure utilisation des muscles paravertébraux internes ne pourrait-elle pas alléger la contribution du diaphragme sur la posture et ainsi permettre à ce dernier de ne travailler qu'à la ventilation ?

Enfin, ces outils concernent les modifications que l'on peut apporter *pendant* la course à pied. Il s'agit de points à travailler à l'entraînement avec l'idée de les intégrer lorsque l'on court et que cette forme de respiration devienne naturelle. Seules des situations exceptionnelles doivent alors perturber cette forme et, par exemple, mettre en place une respiration buccale de façon transitoire. Mais des exercices de préparation, tels que l'entraînement en hypoventilation ou la respiration explosive, devraient apporter des bénéfices, tels que de retarder et de mieux gérer la fatigue, mais aussi le renforcement de la chaîne respiratoire et un système respiratoire plus efficace. Au-delà de l'aspect renforcement décrit dans ce rapport, un aspect important de la respiration explosive de la méthode REBO<sub>2</sub>T est de soulager les tensions myofasciales qui adviennent lorsque l'hypoventilation perdure. Cet aspect est moins documenté mais fondamental pour les pratiquants de la méthode REBO<sub>2</sub>T. La pratique de cet outil respiratoire peut donc aller au-delà de la préparation physique pure et simple. Elle peut devenir un outil que la coureuse ou le coureur peut mettre en place afin de gérer les répétitions des exercices d'entraînement en hypoventilation décrits ci-dessus (cf. partie 5.2.1.), et ainsi de maintenir l'hypoventilation plus longtemps. En outre, lors de la course, cet outil peut être utilisé pour préparer un effort intense et soudain (gérer une côte, doubler un concurrent).



Pour finir, au-delà du renforcement général, de l'impact au sol (talon / plat / avant du pied ?), de la technologie (notamment les chaussures), des gels d'électrolytes, l'amélioration pourrait venir également en modifiant sa façon de respirer pendant la course et en se préparant par la respiration. Une récente étude a montré que 90% des athlètes ont une respiration dysfonctionnelle (Shimozawa *et al.*, 2022). Il est en effet probable que le sport à haute intensité favorise la mise en place de mauvais motifs respiratoires. On peut donc faire le pari que les outils respiratoires proposés dans ce rapport pourront améliorer non seulement les performances d'un grand nombre de sportives et de sportifs, et d'adeptes de la course à pied en particulier, mais aussi leur bien-être au quotidien.

Programme sur 24-25 semaines (confidentiel)

[Redacted content]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

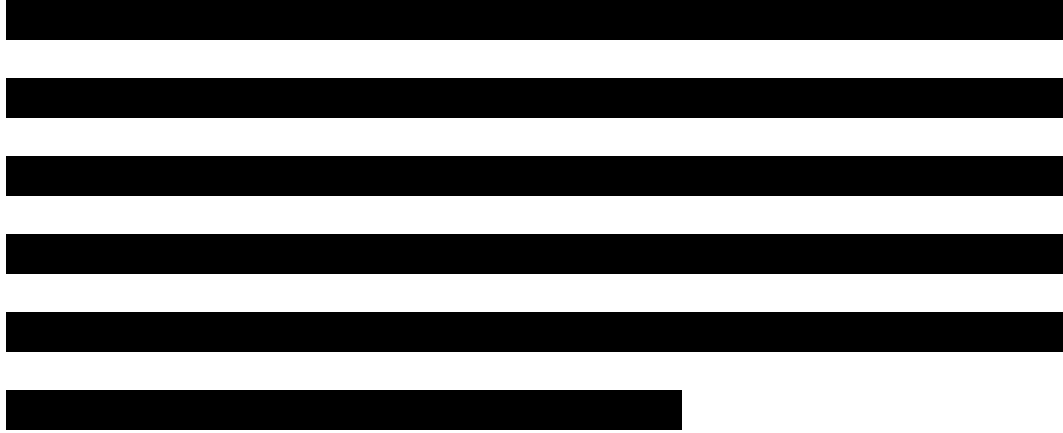
[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]



## 7. Références :

Albertus-Cámara, I., Ferrer-López, V., & Martínez-González-Moro, I. (2022). The Effect of Normobaric Hypoxia in Middle- and/or Long-Distance Runners: Systematic Review. *Biology*, 11(5), 689. <https://doi.org/10.3390/biology11050689>

Amann M. (2012). Pulmonary system limitations to endurance exercise performance in humans. *Experimental physiology*, 97(3), 311–318. <https://doi.org/10.1113/expphysiol.2011.058800>

Andersen, J. J. (2019). The State of Running 2019. *RunRepeat.com* and the International Association of Athletics Federations. <https://racemedicine.org/the-state-of-running-2019/>. Consulté en août 2022.

Archiza, B., Leahy, M. G., Kipp, S., & Sheel, A. W. (2021). An integrative approach to the pulmonary physiology of exercise: when does biological sex matter?. *European journal of applied physiology*, 121(9), 2377–2391. <https://doi.org/10.1007/s00421-021-04690-9>

Borg G. A. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and science in sports and exercise*, 14(5), 377–381.

Cam, Y. (2022) L'art de la respiration. Combien de fois faut-il respirer par minute ? La recherche de la fréquence respiratoire idéale... <https://artdelarespiration.fr/combien-de-fois-faut-il-respirer-par-minute-la-recherche-de-la-frequence-respiratoire-ideale>.

Consulté en août 2022.

Coates, B., & Kowalchik, M. (2013). Running on air. Rodale Books, Emmaus, PA, U. S. A. 274p. ISBN: 9781623362553

Dallam, G. M., McClaran, S. R., Cox, D. G., & Foust, C. P. (2018). Effect of Nasal Versus Oral Breathing on Vo<sub>2</sub>max and Physiological Economy in Recreational Runners Following an Extended Period Spent Using Nasally Restricted Breathing. *International Journal of Kinesiology and Sports Science*, 6(2), 22-29. doi:<https://doi.org/10.7575/aiac.ijkss.v.6n.2p.22>

Dempsey, J. A., La Gerche, A., & Hull, J. H. (2020). Is the healthy respiratory system built just right, overbuilt, or underbuilt to meet the demands imposed by exercise?. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, *129*(6), 1235–1256. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00444.2020>

Dufour, S. P., Ponsot, E., Zoll, J., Doutreleau, S., Lonsdorfer-Wolf, E., Geny, B., Lampert, E., Flück, M., Hoppeler, H., Billat, V., Mettauer, B., Richard, R., & Lonsdorfer, J. (2006). Exercise training in normobaric hypoxia in endurance runners. I. Improvement in aerobic performance capacity. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, *100*(4), 1238–1248. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00742.2005>

Estenne, M., De Troyer, A. (1987). Mechanism of the postural dependence of vital capacity in tetraplegic subjects. *American Review of Respiratory Disease*, *135*(2), 367–371.

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. <https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1431312>

Harbour, E., Stöggel, T., Schwameder, H., & Finkenzeller, T. (2022). Breath Tools: A Synthesis of Evidence-Based Breathing Strategies to Enhance Human Running. *Frontiers in physiology*, *13*, 813243. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.813243>

Kandola, A., Ashdown-Franks, G., Hendrikse, J., Sabiston, C. M., & Stubbs, B. (2019). Physical activity and depression: Towards understanding the antidepressant mechanisms of physical activity. *Neuroscience and biobehavioral reviews*, *107*, 525–539. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2019.09.040>

Lapointe, J., Paradis-Deschênes, P., Woorons, X., Lemaître, F., & Billaut, F. (2020). Impact of Hypoventilation Training on Muscle Oxygenation, Myoelectrical Changes, Systemic [K<sup>+</sup>], and Repeated-Sprint Ability in Basketball Players. *Frontiers in sports and active living*, *2*, 29. <https://doi.org/10.3389/fspor.2020.00029>

Léger, L., & Boucher, R. (1980). An indirect continuous running multistage field test: the Université de Montréal track test. *Canadian journal of applied sport sciences. Journal canadien des sciences appliquées au sport*, *5*(2), 77–84.

Mok, A., Khaw, K. T., Luben, R., Wareham, N., & Brage, S. (2019). Physical activity trajectories and mortality: population based cohort study. *BMJ (Clinical research ed.)*, *365*, l2323. <https://doi.org/10.1136/bmj.l2323>

Nilson, F., Lundkvist, E., Wagnsson, S., & Gustafsson, H. (2021) Has the second ‘running boom’ democratized running? A study on the sociodemographic characteristics of

finishers at the world's largest half marathon, *Sport in Society*, 24(4), 659-669, DOI: [10.1080/17430437.2019.1703687](https://doi.org/10.1080/17430437.2019.1703687)

Park, H. Y., Jung, W. S., Kim, S. W., Kim, J., & Lim, K. (2022). Effects of Interval Training Under Hypoxia on Hematological Parameters, Hemodynamic Function, and Endurance Exercise Performance in Amateur Female Runners in Korea. *Frontiers in physiology*, 13, 919008. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.919008>

Perry, S. F., Similowski, T., Klein, W., Codd, J. R. (2010) The evolutionary origin of the mammalian diaphragm. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 171(1), 1-16.

Reimers, C. D., Knapp, G., & Reimers, A. K. (2012). Does physical activity increase life expectancy? A review of the literature. *Journal of aging research*, 2012, 243958. <https://doi.org/10.1155/2012/243958>

Ronto, P. (2020) The State of Ultra Running. *RunRepeat.com* and the International Association of Ultrarunning. <https://runrepeat.com/state-of-ultra-running>. Consulté en août 2022.

Shimozawa, Y., Kurihara, T., Kusagawa, Y., Hori, M., Numasawa, S., Sugiyama, T., Tanaka, T., Suga, T., Terada, R. S., Isaka, T., & Terada, M. (2022). Point Prevalence of the Biomechanical Dimension of Dysfunctional Breathing Patterns Among Competitive

Athletes. *Journal of strength and conditioning research*, 10.1519/JSC.0000000000004253.

Advance online publication. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004253>

Svensson, S., Olin, A. C., & Hellgren, J. (2006). Increased net water loss by oral compared to nasal expiration in healthy subjects. *Rhinology*, 44(1), 74–77.

The WHOQOL Group. (1998). Development of the World Health Organization WHOQOL-BREF quality of life assessment. *Psychological medicine*, 28(3), 551–558. <https://doi.org/10.1017/s0033291798006667>

Woorons, X. (2014) Hypoventilation Training, Push Your Limits! ARPEH, Lille, France. 168p. ISBN 978-2-9546040-1-5

Woorons, X., Millet, G. P., & Mucci, P. (2019). Physiological adaptations to repeated sprint training in hypoxia induced by voluntary hypoventilation at low lung volume. *European journal of applied physiology*, 119(9), 1959–1970. <https://doi.org/10.1007/s00421-019-04184-9>

Woorons, X., Billaut, F., & Vandewalle, H. (2020). Transferable Benefits of Cycle Hypoventilation Training for Run-Based Performance in Team-Sport Athletes. *International journal of sports physiology and performance*, 1–6. Advance online publication. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2019-0583>



Woorons, X., Billaut, F., & Lamberto, C. (2021). Running exercise with end-expiratory breath holding up to the breaking point induces large and early fall in muscle oxygenation. *European journal of applied physiology*, *121*(12), 3515–3525. <https://doi.org/10.1007/s00421-021-04813-2>

Woorons, X., Lemaitre, F., Claessen, G., Woorons, C., & Vandewalle, H. (2021b). Exercise with End-expiratory Breath Holding Induces Large Increase in Stroke Volume. *International journal of sports medicine*, *42*(1), 56–65. <https://doi.org/10.1055/a-1179-6093>