

Année universitaire 2022-2023

Master 2nd Année

Master STAPS mention : *Entraînement et Optimisation de la Performance Sportive*

Parcours : *Préparation du sportif : aspects physiques, nutritionnels et mentaux*

MÉMOIRE

TITRE : Un cycle de six semaines d'entraînement des muscles respiratoires couplé à une base d'entraînement cycliste chez un public adolescent a-t-il des effets bénéfiques sur les performances aérobies ?

Par : Quentin GUEDON

Sous la direction de : Murielle GARCIN

Soutenu à la Faculté des Sciences du Sport et
de l'Éducation Physique le : Jeudi 29 Juin 2023



« La Faculté des Sciences du Sport et de l'Éducation Physique n'entend donner aucune approbation aux opinions émises dans les mémoires; celles-ci sont propres à leurs auteurs. »

Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont permis de réaliser ce mémoire.

Dans un premier temps, je remercie la faculté des sports de Lille et l'ensemble de l'équipe pédagogique, responsable du Master 2 EOPS, pour la qualité des enseignements reçus, leur disponibilité ainsi que leurs encouragements pour la réalisation des différents projets.

Je remercie l'ensemble des jeunes de la section Van Der Mersch, sans qui cette étude n'aurait pas vu le jour pour leur investissement et leur enthousiasme durant l'intégralité de l'étude; ainsi que M. Valentin DRUART, responsable de la section, qui m'a fait confiance et m'a confié le groupe..

Merci au STAB Vélodrome et à l'ensemble de son équipe.

Je remerci tout particulièrement deux personnes qui ont été la clef dans l'aboutissement de ce projet :

- M. Jérémie FROMONTEIL, tuteur professionnel, qui m'a partagé son expérience et m'a poussé à donner le meilleur de moi-même pour mes athlètes, à travers sa passion et son dévouement pour le cyclisme et les jeunes.
- Mme Muriel GARCIN, directrice de mémoire pour cette deuxième année consécutive; qui m'a accompagné tout au long de ce mémoire, disponible, bienveillante et très précieuse de conseils afin de faire ressortir un travail de qualité.

Enfin merci à mes proches qui me soutiennent dans tous mes projets, en particulier à Typhaine et mes parents.

SOMMAIRE

Remerciements.....	3
SOMMAIRE.....	4
Glossaire.....	5
1- Introduction.....	6
2- Revue de littérature.....	7
2.1- Caractéristiques et spécificités du cyclisme sur route.....	7
2.2- Qualités physiques spécifiques du cyclisme sur route.....	9
2.3- Mécanismes du système respiratoire.....	14
2.4- Entraînement des muscles respiratoires.....	16
3- Problématique, Objectif et Hypothèses.....	18
3.1- Problématique.....	18
3.2- Objectif.....	18
3.3- Hypothèses.....	19
4 - Structure.....	19
4.1- Milieu professionnel.....	19
4.2- Groupe d'étude.....	20
4.3- Matériel.....	20
4.4- Protocole.....	21
4.5- Synoptique des tests.....	22
4.6- Analyse Statistique.....	22
5 - Analyse et résultats.....	23
5.1- Exploitation des résultats.....	23
5.2- Présentation des résultats.....	23
6 - Discussion.....	26
6.1- Interprétations.....	26
6.2- Limites de l'étude.....	27
6.3- Application sur le terrain.....	27
6.4- Perspectives.....	27
7- Conclusion.....	29
8- Bibliographie.....	30
9- Annexes.....	33
10- Résumé et Mots Clés.....	40
11- Abstract and keywords.....	41
12- Compétences.....	42

Glossaire

CLM : Contre-La-Montre

CO₂ : Dioxyde de Carbone

EMG : Electromyographie

FFC : Fédération Française de Cyclisme

FSSEP : Faculté des Sciences du Sport et de l'Education Physique

HIIT : High Intensity Interval Training

IMT : Inspiratory Muscle Training

O₂ : Dioxygène

PMA : Puissance Maximale Aérobie

RPM : Rotation Par Minute

SCOM : Sterno-Cléido-Mastoïdien

SEF : Structure d'Entraînement et de Formation

1RM : Répétition Maximale

1- Introduction

Considéré comme l'un des sports d'endurance les plus populaires et qui, chaque année, rassemble des millions de personnes au bord des routes ou derrière leurs téléviseurs, nous parlons bien évidemment du cyclisme. Activité ayant été pratiquée au moins une fois par 9 personnes sur 10 en France *Sondage FUB (2020)*, le cyclisme a la particularité d'être décliné en plusieurs modes de pratique: en premier lieu c'est avant tout un moyen de transport. En pleine expansion dans une démarche écologique et responsable qui envahit la société depuis quelques années, de plus en plus de personnes sont consommatrices de ce nouveau moyen de locomotion "propre" à tel point que l'approvisionnement en vélo ou simple pièce détachée devient un véritable imbroglio pour les nombreux revendeurs. Suite à cet engouement pour le deux-roues à motorisation musculaire, le cyclisme est aussi un loisir très populaire qui permet à ses pratiquants une activité physique douce, non traumatisante et parfois dépayssante pour des lieux de pratiques variés. Enfin, point qui sera le cœur de cette étude, la pratique compétitive, qui fait l'essence même des valeurs portées par le cyclisme et qui fait de ce sport sa renommée de par les compétitions internationales retransmises dans le monde entier. Discipline en constante évolution depuis deux décennies, avec des progrès phénoménaux dans la conception du matériel de plus en plus performant, dans la préparation et le suivi des athlètes ainsi que dans l'apparition des structures professionnelles et amateurs, la pandémie mondiale de COVID a mis en évidence un des atouts clef du cycliste professionnel : ses capacités respiratoires. Maladie touchant les voies respiratoires, les athlètes ont directement été impliqués lorsqu'ils ont contracté des formes sévères. Nous nous pencherons dans la revue de littérature qui va suivre, sur le rôle des capacités respiratoires dans la performance chez les cyclistes et nous mettrons en place un protocole d'entraînement des muscles respiratoires afin d'observer des bénéfices ou non sur le niveau des athlètes soumis au protocole expérimental.

Nous y détaillerons les différents aspects abordés dans ce mémoire afin de cadrer et de justifier au mieux notre étude. Dans un second temps, nous aborderons l'intérêt de suivre un protocole de développement des muscles respiratoires, afin de développer les qualités cardio-respiratoires d'un athlète et tenter de voir si cela apporte un bénéfice réel ou non dans la performance de ce dernier. Enfin, nous effectuerons un protocole d'évaluation et d'entraînement sur un groupe de jeunes athlètes spécialisés dans le cyclisme pour répondre à la question posée.

2- Revue de littérature

Selon la discipline pratiquée, les qualités physiques requises sont variables. L'endurance est prédominante en cyclisme sur route, l'explosivité et la force sont primordiales sur les disciplines de vitesse en cyclisme sur piste, et enfin, l'agilité et la coordination sont indispensables en cyclocross Grappe (2012). Travaillant dans l'enceinte du vélodrome Jean Stablinski à Roubaix, nous côtoyons des "pistards" au quotidien ainsi que de nombreux "routiers" qui préparent leur saison estivale durant l'hiver.

Dans la revue de littérature qui va suivre, nous nous intéresserons principalement à la discipline du cyclisme traditionnel, autrement dit le cyclisme sur route.

2.1- Caractéristiques et spécificités du cyclisme sur route

Lieu de pratique :

Le cyclisme sur route se pratique en extérieur, sur le réseau routier et réseau cyclable aménagé, de préférence sur un revêtement d'asphalte le plus lisse possible. En effet, les aspérités et détériorations de chaussées peuvent engendrer un danger de chute, de casse matériel, ou de perte de rendement. La circulation est aussi un facteur accidentogène. Malgré le fait que le cycliste soit soumis au code de la route durant ses sorties d'entraînement, les accidents avec les véhicules restent la cause principale de blessure causée à l'entraînement. Durant les compétitions, la route est totalement fermée à la circulation.

Matériels et Engins :

Selon la discipline pratiquée sur route, il existe 2 types de vélo : les vélos traditionnels et les vélos de contre-la-montre (CLM). La différence notable entre ces deux types de vélo se fait au niveau du guidon: alors le vélo de CLM est doté de prolongateurs, le vélo de route dit traditionnel possède lui un cintre¹ arrondi classique composé de cocottes (supports de freins). La particularité des vélos de CLM résulte du fait qu'ils sont dotés d'un réglage beaucoup plus aérodynamique. La selle et le guidon sont légèrement avancés vers l'avant par rapport à un vélo de route, et ce dernier possède aussi un cintre plus bas. Les cadres sont composés en fibre de carbone et sont plus larges que ceux utilisés sur les vélos de route afin d'être plus

¹ Composant formant le corps du guidon

aérodynamiques. Enfin, les roues sont conçues pour être le plus aérodynamique possible. C'est pourquoi il existe plusieurs types de roues: à rayons (la hauteur de jante est variable selon les modèles) ou lenticulaire (roue pleine). Cette dernière est strictement réservée au CLM et ne peut être positionnée qu'à l'arrière (contrairement au cyclisme sur piste où l'on peut s'équiper d'une paire de roues pleines).

La tenue du coureur est composée d'un casque (obligatoire), généralement aérodynamique et disposant un double serrage jugulaire - nuque. A cela s'ajoutent des lunettes de protection ou visière directement intégrée au casque afin de se protéger de tout risque de projection ou d'éblouissement. Les gants sont aussi obligatoires. Enfin, l'athlète dispose d'une combinaison aérodynamique, et des chaussures à cales automatiques.

Sur les épreuves chronométrées, les coureurs disposent d'une oreillette pour communiquer avec leur directeur sportif. Seuls les coureurs professionnels UCI disposent également d'une oreillette sur les courses en peloton.

Les disciplines de la route :

Toutes les disciplines sont définies sur le site internet de la Fédération Française de Cyclisme (FFC)

Les épreuves en circuit : La course se déroule sur un tracé comportant plusieurs passages sur la ligne. Le dernier tour est signalé par la cloche. La taille du circuit est variable selon la catégorie de l'épreuve (jeune, adulte, professionnel). Ces épreuves sont réalisées en peloton.

Les épreuves en ligne : La course se déroule sur un tracé continu où des motards de la garde républicaine ferment la route en amont et la rouvrent après passage de la bulle course (coureur + véhicules de courses). C'est principalement les courses de haut niveau, notamment les étapes du Tour de France. Là encore le tracé varie selon le niveau de la course. Épreuve en peloton.

Le Critérium : Épreuve en circuit urbain, généralement dans les centres villes. De nombreuses relances sont à réaliser durant la course de part le nombre de virages ou ralentissement du tracé. La taille du circuit et la distance totale de course sont généralement inférieures aux épreuves en circuit. Épreuve en peloton.

Le Contre-la-montre individuel : Épreuve où les coureurs partent seuls, toutes les minutes, avec leur vélo de CLM. Ils doivent réaliser l'intégralité de la distance de l'étape ou du circuit le plus rapidement possible. Le meilleur temps remporte l'épreuve. Le drafting² est strictement interdit.

Le Contre-la-montre par équipe : des équipes de 6 à 8 coureurs de la même équipe (selon la course) s'élance toutes les 3 minutes. Le principe est le même que les CLM individuels. Le drafting au sein de l'équipe est autorisé. Le temps à l'arrivée est pris sur le 4^{ème} coureur franchissant la ligne.

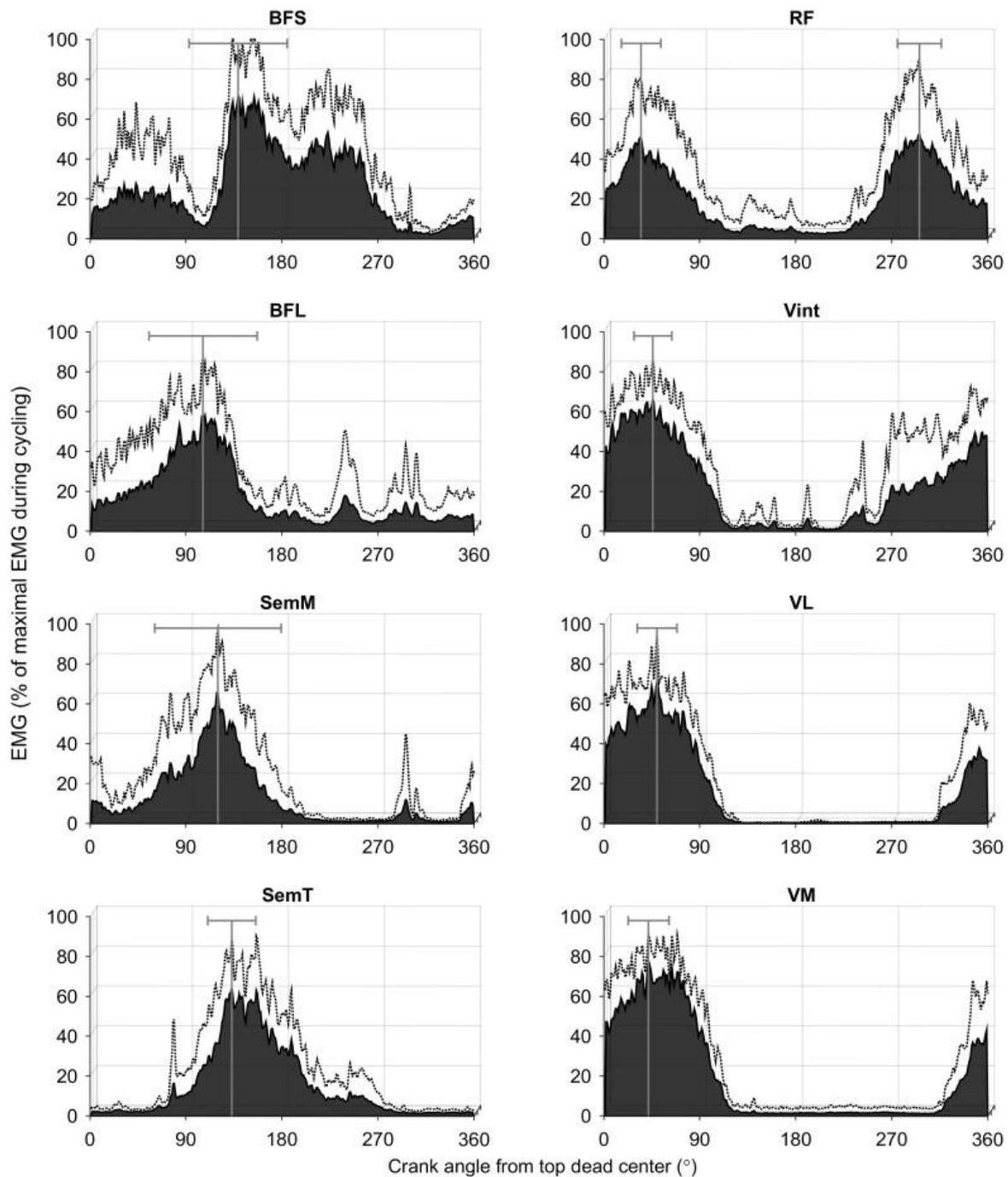
Le Prologue : C'est un CLM individuel se déroulant en ville avec une distance de course totale inférieure à 10 km. Généralement placé au départ des courses par étapes pour créer un premier classement et distribuer les maillots distinctifs.

2.2- Qualités physiques spécifiques du cyclisme sur route

En cyclisme, la propulsion se fait grâce à l'action des membres inférieurs sur les pédales qui engendrent le mécanisme de transmission du vélo afin de mettre en mouvement les roues et créer le déplacement de l'ensemble cycliste+vélo. C'est pourquoi le développement des groupes musculaires des membres inférieurs est primordial. En effet, sur ce mouvement cyclique répété sans cesse, l'alternance de contraction entre les fléchisseurs et extenseurs de hanche se fait dans un ordre bien distinct comme le démontrent Da Silva et al. (2016) grâce à une étude électromyographique des quadriceps et des ischios jambiers (*Figure 1*).

Fig. 1 ci-dessous: Normalized EMG (mean + SD) for biceps femoris short head (BFS), biceps femoris long head (BFL), semimembranosus (SemM), semitendinosus (SemT), rectus femoris (RF), vastus intermedius (Vint), vastus lateralis (VL), and vastus medialis (VM) muscles during the pedaling cycle. Vertical lines represent the angles at which peak EMG occurred (mean ± SD) for each muscle of all subjects

² Fait de prendre l'aspiration du coureur qui le précède en restant dans son sillage.



La particularité du cyclisme est que c'est un sport à chaîne fermé, ou il n'y a pas de variation d'amplitude et de mouvements (hors la mise en danseuse). C'est-à-dire que le cycliste effectue un geste répété en boucle. L'avantage que cela procure est une limitation des risques de blessures type entorse, torsion ou déchirure musculaire. Afin d'être le plus performant possible, il est important de prendre en compte les spécificités de chaque discipline se pratiquant en cyclisme. Il est évident qu'un coureur spécialiste du sprint n'aura pas la même morphologie et les mêmes aptitudes physiques qu'un "grimpeur" (spécialiste en

montagne). Si nous nous focalisons sur les grimpeurs, il est indéniable que les qualités primordiales à avoir pour performer sont les suivantes:

La VO_2 max, qui est “la consommation d’ O_2 maximale par l’organisme par unité de temps au niveau de la mer Zatsiorsky, et al. (2021). Alejo et al. (2022) ont identifié la VO_2 max comme un des facteurs principaux de la performance en cyclisme. Les cyclistes professionnels disposent de VO_2 max parmi les plus élevés du règne sportif (> 65mL/min/kg), comparables aux skieurs de fond.

La force, qui d’un point de vue général, est définie comme “ la faculté de vaincre une résistance extérieure ou de s’y opposer grâce à la contraction musculaire volontaire” Zatsiorsky, et al. (2021). Cette force dépend donc de ces différents facteurs: le diamètre des fibres musculaires et sa composition (facteur morphologique, Burke et al. (1977)), de la coordination intra musculaire (facteur interne du muscle) et de la capacité à transmettre l’influx nerveux (facteur neuromusculaire).

Bien qu’il soit important d’être en capacité de produire une force sur une durée prolongée importante, le maintien d’une cadence de pédalage élevé permet d’obtenir la meilleure relation Force-Vitesse et développer ainsi le plus de puissance possible (Dorel et al. 2005).

Afin de maintenir une cadence efficace, les qualités de coordination intermusculaire et de dissociation des segments des membres inférieurs (droite/gauche) facilitent le retour actif du pied qui n’est pas en “poussée” sur la pédale grâce à un mouvement de “tirage”. Cependant, Zoladz, Rademaker, et Sargeant (2000) ont estimé que la fenêtre de cadence de pédalage optimale pour un sprint $t < 45s$ est de 130 RPM³. Au-delà de ça, une déperdition énergétique et une accumulation des déchets prématurés perturbent la contraction musculaire. En plus d’être capable de développer une puissance de très haute intensité, le coureur doit être en capacité de la maintenir une fois sa vitesse de pointe atteinte. Comme le démontre la *figure 2 et 3*, issue de l’étude de Douglas, Ross, et Martin (2021), le moment de coordination neuromusculaire prend le relais du moment de force maximale afin de permettre de maintenir un cycle de pédalage élevé et constant.

³ Rotation Par Minute

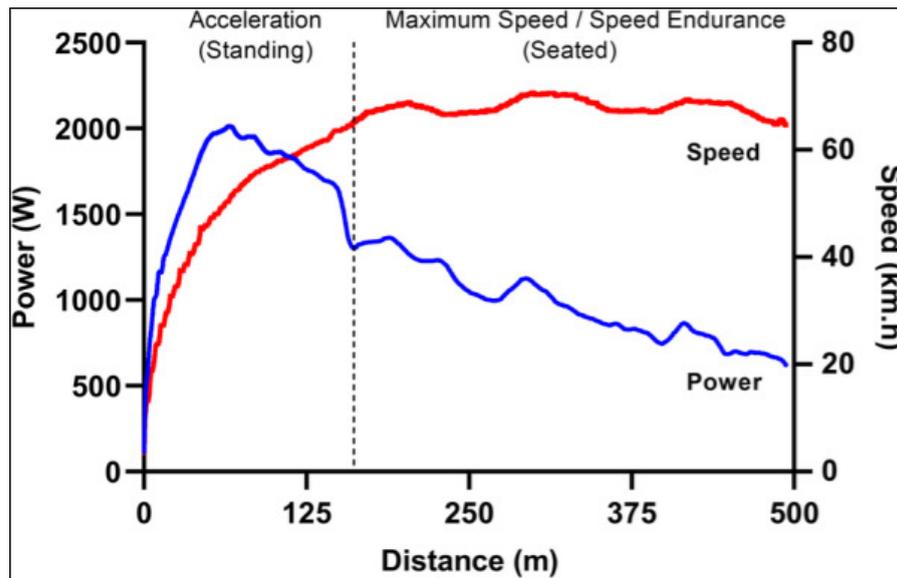


Fig. 2 Un exemple de profil de puissance et de vitesse résultant d'un cycliste de sprint masculin hautement entraîné lors d'un effort maximal de 500 m effectué à partir d'un départ arrêté (avec une durée d'effort de 31,91 s). La ligne verticale pointillée représente la transition du cyclisme debout au cyclisme assis et, est une démarcation approximative entre les phases d'accélération et d'endurance vitesse maximale / vitesse (Douglas, Ross, et Martin (2021))

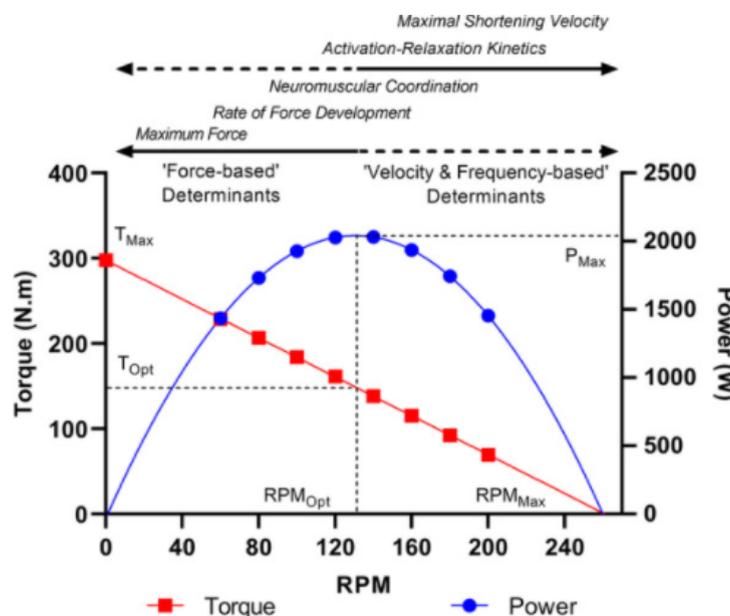


Fig. 3 La relation entre le taux de pédalage de couple et de puissance, les paramètres et les déterminants. La relation entre le couple et la vitesse de pédalage de puissance est déterminée par une interaction de facteurs « basés sur la force » et « basés sur la vitesse et la

fréquence ». Il convient de noter que tous les déterminants influencent le couple et la production de puissance à la plupart des taux de pédalage rencontrés dans le cyclisme de sprint; cependant, l'importance relative d'un facteur donné dépend du taux de pédalage. Abréviations : PMax, puissance maximale; TR / MINMax, cadence de pédalage maximal; TR / MINOpter, taux de pédalage optimal (c.-à-d. fréquence optimale); TMax, couple maximal; TOpter, couple optimal, RPMopt : Cadence optimale; RPMmax : Cadence maximale (Douglas, Ross, et Martin (2021))

Des facultés d'endurance de force sont donc là aussi nécessaires afin de maintenir un niveau de performance sur la durée et de ne pas s'écrouler dans les derniers hectomètres avant la ligne d'arrivée. Enfin, pour surprendre l'adversaire lors d'un démarrage, la qualité d'explosivité est importante afin de réduire au maximum le temps d'inertie et d'avoir l'accélération la plus forte possible sur un temps imparti le plus réduit possible (Grappe, 2012)

Cependant, il est important de ne pas négliger l'action des muscles posturaux du tronc qui permettent de stabiliser celui-ci dans une position aérodynamique le plus longtemps possible. On parle alors d'endurance de position qui est un autre facteur de performance Grappe (2012). Enfin, l'action des membres supérieurs sur le cintre, le "tirage", permet de potentialiser la déperdition d'énergie afin de la renvoyer vers les membres inférieurs. L'utilisation des bras dans un sprint est un facteur clef de performance, permettant ainsi de contrebalancer le vélo sous l'action de pression/tirage des pédales. En montagne, dans un col, l'utilisation des bras lors du de la mise en danseuse permet un transfert d'énergie efficace et limite les déperditions.

Le processus d'entraînement est susceptible d'induire des adaptations physiologiques propres au cyclisme. Les scientifiques se sont penchés sur différentes méthodes d'entraînement. Kasai et al. (2021) ont récemment rapporté qu'une seule séance d'interval de sprint long (30') permet une meilleure utilisation du glycogène musculaire grâce à un travail en hypoxie, sans pour autant interférer avec les puissances développées. En parallèle, l'étude de Martinez-Valdes et al. (2018) relève qu'un protocole de deux semaines d'entraînement en

HIIT⁴ conduit à une amélioration de la conduction nerveuse. De même pour les études de García-De Frutos et al. (2021) et García-Pinillos et al. (2017) qui démontrent que le HIIT permet de développer une tolérance à une concentration en lactate qui augmente ainsi qu'une amélioration des facteurs neuromusculaires. Or ceci est un des points clé de l'explosivité, que nous avons déterminé comme facteur de performance en sprint. Cependant, les études relevant du développement de la force max sont principalement réalisées chez des adultes. A notre connaissance, il n'existe pas de littérature sur les jeunes cyclistes. Depuis quelques années, des recherches se sont penchées sur le travail des muscles respiratoires durant l'effort, et si l'entraînement de ces derniers pouvait avoir des conséquences sur la performance en cyclisme. De plus, depuis la pandémie de COVID, Ou et al. (2022) ont relevé que le port de masques chirurgicaux avait impacté négativement les capacités respiratoires chez des sujets sains. Un travail de rééducation des muscles respiratoires chez les cyclistes fait-il donc l'objet d'un axe prioritaire suite à la pandémie ? Plusieurs études Verges et al. (2008); Markov et al. (2001); Hellyer et al. (2015) ont rapporté des effets bénéfiques de l'entraînement sur des muscles respiratoires, plus particulièrement sur des efforts réalisés à PMA (Puissance Maximale Aérobie) .

2.3- Mécanismes du système respiratoire

Le système respiratoire est un ensemble de mécanismes permettant à l'Homme l'acheminement de l'O₂ vers les alvéoles pulmonaires, siège de l'échange gazeux. Source principale d'énergie via la filière aérobie, il dispose d'une inertie plus lente que la filière anaérobie. En effet, l'acheminement de l'air vers les poumons, puis de l'échange gazeux alvéolo-capillaire et enfin du sang vers les muscles prend un certain temps. Si nous nous penchons sur le détail du transit de l'air dans le système respiratoire, nous pouvons constater deux phases : l'inspiration et l'expiration. (NETTER, 2019)

Lors de l'inspiration, l'air chargée en O₂ va transiter par les voies aériennes supérieures en entrant par la bouche ou les narines, transiter par les fosses nasales, le pharynx puis le larynx et arriver au niveau des voies aériennes inférieures NETTER (2019) . L'air passe alors par la trachée, puis arrive au niveau des poumons et de l'arbre bronchique

⁴ High Intensity Interval Training

(bronches, qui se divisent en bronchioles puis en lobules et vésicules alvéolaires) NETTER (2019). Le phénomène d'inspiration de l'air au repos est en partie engagé par la contraction du diaphragme qui va augmenter le volume pulmonaire provoquant un appel d'air résultant par une variation des gradient de pressions à l'intérieur de ceux-ci selon la loi de Boyle Mariotte. L'échange gazeux réalisé au niveau alvéolaire permet la captation de l'O₂ pour envoyer le sang enrichi en O₂ vers le cœur puis l'ensemble de l'organisme. A l'inverse, le sang enrichi en CO₂ est recyclé et l'excès de CO₂ est expulsé via l'expiration. Cet échange s'effectue par diffusion passive au travers de la barrière alvéolocapillaire. Elle dépend des pressions partielles qui sont modifiées tout au long du transit par les voies respiratoires. Lors de l'expiration, le diaphragme se relâche et l'air effectue le chemin inverse au travers des voies aériennes inférieures puis supérieures.

On identifie deux types de respiration : la respiration "normale " et la respiration "Profonde". La respiration normale est celle que nous effectuons au quotidien, de manière automatique sans y prêter attention. Les muscles impliqués sont le diaphragme et les intercostaux externes. (uniquement lors de l'inspiration). Lorsque nous effectuons des respirations forcées, durant un effort, une activité physique ou de manière consciente, des muscles auxiliaires viennent contribuer à l'action d'inspiration et d'expiration. Lors de l'inspiration profonde, nous retrouvons le diaphragme et les intercostaux externes, mais aussi le SCOM (Sterno-Cléido-Mastoïdien) et le Scalène. Durant l'expiration, les intercostaux internes, ainsi que les abdominaux (Oblique interne et externe, Transverse et Droit de l'abdomen). viennent contribuer à l'abaissement de la cage thoracique et augmenter la pression interne des poumons afin d'accélérer la chasse de l'air présent dans les voies respiratoires. (Cf Figure 4)

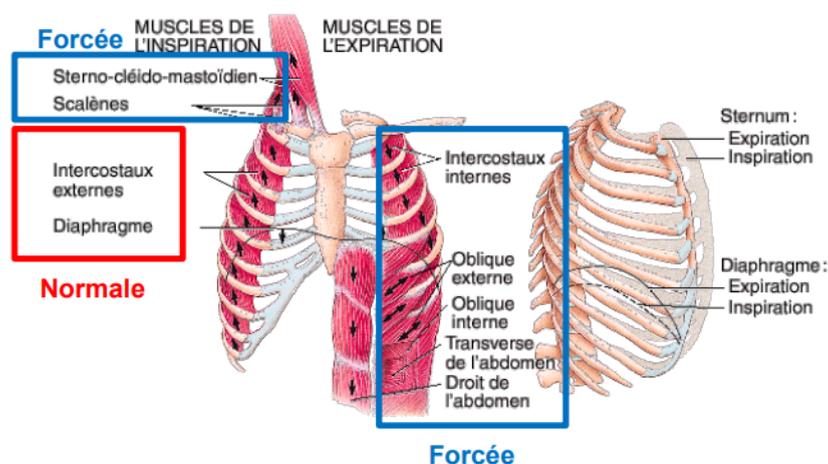


Figure 4 : Anatomie fonctionnelle des muscles respiratoires. (Netter 2019)

2.4- Entraînement des muscles respiratoires

La performance aérobie est caractérisée selon Zatsiorsky, Kraemer, et Fry (2021) par la capacité de maintenir un niveau de performance élevé dans le temps, que ce soit une force ou une vitesse. S'appuyant sur la puissance aérobie et la capacité aérobie, les performances aérobies s'obtiennent suite à des adaptations physiologiques induites par l'entraînement. Ces adaptations sont issues du système musculaire, biomécanique, cardiaque et pulmonaire. L'entraînement sportif entraîne donc des adaptations physiologiques de l'organisme pour répondre aux contraintes de l'activité, notamment au niveau respiratoire Illi (2012). La respiration, qui n'est pas un facteur limitant de la filière aérobie, est cependant un atout dans la performance, en particulier sur les efforts d'endurance à haute intensité. Gasser et al. (2022) ont identifié que les sujets entraînés ont développé une meilleure ventilation que des sujets sédentaires. DeLucia et al. (2022) ont observé qu'après un protocole de six semaines d'entraînement des muscles respiratoires, la force des muscles inspireurs à haute résistance et à faible volume a prolongé l'endurance respiratoire et atténué la réactivité de la pression artérielle chez les jeunes sujets actifs. Il en est de même pour l'étude menée par Daniel G et al. (2019) qui stipule qu'un protocole réduit de six semaines suffit pour obtenir des résultats concluant sur le développement et l'amélioration des performances d'efforts prolongés au seuil en hypoxie. Il est alors intéressant de comparer cela et de l'identifier à des efforts représentatifs d'une fin de course en altitude. Il propose donc des résultats très intéressants pour les cyclistes de haut niveau. D'après l'étude menée par Markov et al. (2001), ils ont été jusqu'à identifier que le système respiratoire pouvait être facteur limitant. Il est donc évident que l'entraînement respiratoire apporte un effet bénéfique à l'athlète et doit s'inclure dans sa programmation Mackala et et al. (2019).

L'entraînement des muscles respiratoires consiste à réaliser des inspirations ou des expirations forcées en présentant une résistance au flux d'air. De cette manière, l'athlète engage volontairement ses muscles impliqués dans l'inspiration / l'expiration forcée afin de provoquer un flux d'air le plus rapide possible. Cette résistance au flux d'air est réalisable avec des spiromètres dont la turbine peut être réglée par une résistance magnétique (ou électrique)(Breathe Link, s. d.). Grâce à cela, il est possible de contrôler la résistance et de la

calibrer en watts. Si l'athlète ne dispose pas de matériel scientifique, il est néanmoins possible d'utiliser des ustensiles rigides et creux (comme des pailles) à diamètres variables afin de limiter l'orifice de sortie du flux d'air inspiré ou expiré. Des séquences d'entraînement de vingt minutes maximum sont recommandées par les constructeurs afin d'éviter des étourdissements et l'hyperventilation des sujets. Hellyer et al. (2015) ont révélé une meilleure implication du diaphragme lors de l'IMT (Inspiratory Muscles Training) réalisé en position verticale. Son activité EMG était plus importante. Ils en concluent que l'IMT est un bon additif à l'entraînement seul.

En effet, les principales adaptations que l'on peut constater suite à l'entraînement sont une augmentation du volume courant à l'exercice, une diminution de la fréquence respiratoire (FR) au repos et une augmentation de FR à l'exercice intense, une augmentation de la ventilation, une augmentation du nombre d'alvéoles et une densification capillaire au niveau alvéolaire, ainsi qu'une meilleure extraction de l'O₂ sanguin par le muscle et une amélioration de la balance circulatoire au profit du muscle. (Bury et Hody 2018)

Malgré les nombreux avantages que procure l'entraînement au niveau respiratoire, la situation sanitaire de ces deux dernières années a bouleversé les habitudes, les organismes d'un point de vue respiratoire. La COVID 19, virus extrêmement contagieux touchant les voies respiratoires et causant de nombreux troubles de la respiration a impacté de nombreux athlètes (Gouvernement.fr 2023). Nécessitant parfois un arrêt total de l'activité, la reprise fut parfois longue et contraignante suite à des gênes respiratoires persistantes (du type dyspnée). Le port du masque rendu obligatoire a lui aussi impacté les organismes : Ou et al. (2022) ont montré au travers de leurs recherches que le port du masque aurait tendance à avoir des effets négatifs sur la VO₂max et la ventilation. Très peu d'études concernent les sportifs de haut niveau. Chez les patients en voie de rétablissement d'un cancer du sein, Dahhak, Devoogdt, et Langer (2022) ont démontré qu'un protocole d'entraînement apporte de nombreux aspects positifs avec notamment une réduction de la dyspnée à l'effort et une augmentation de l'endurance des muscles respiratoires. Almaza n et al. (2021) ont constaté suite à leurs recherches post pandémie que l'entraînement sportif avait des effets bénéfiques sur le rétablissement de la santé des patients atteints de la COVID 19

Il est donc logique que le développement et l'entraînement des muscles respiratoires chez les cyclistes confère de nombreux intérêts dans le cadre de l'optimisation de la performance .

3- Problématique, Objectif et Hypothèses

Le complexe sportif de Roubaix, possède en dehors des infrastructures et des équipements spécifiques au cyclisme, une salle de musculation. Face au vélodrome se trouve le Lycée Maxence Van Deer Mersch, qui vient d'être labellisé SEF (Structure d'Entraînement et de Formation). Une section spécialisée dans le cyclisme y est implantée. Depuis Septembre 2022, une collaboration est mise en place entre la section et le comité Hauts-de-France cyclisme.

En charge de ces jeunes athlètes, nous avons, après échanges et questionnements auprès des jeunes constatés les points suivants :

- Quasiment tous les athlètes ont contracté la Covid
- Certains ont le sentiment que depuis la Covid, ils ont des difficultés respiratoires lors de l'effort intense.
- Beaucoup ont des difficultés à maîtriser et harmoniser leur respiration durant l'effort (en musculation et sur le vélo).
- Une méconnaissance sur l'entraînement des muscles respiratoires et les effets sur la performance.

La majorité de nos interventions se déroulent sur un public de bon niveau voir haut niveau, relativement jeune (15-18ans). La plupart ont déjà entamé leur pic pubertaire.

3.1- Problématique

Un cycle de six semaines d'entraînement des muscles respiratoires couplé à une base d'entraînement cycliste chez un public adolescent a-t-il des effets bénéfiques sur les performances aérobies ?

3.2- Objectif

Cette étude tentera de déterminer si un cycle d'entraînement ciblant les muscles respiratoires combiné à un entraînement classique permet une amélioration des performances aérobies, transcrite sous la valeur de VO_2^{max} , elle-même déduite grâce à la PMA.

3.3- Hypothèses

Nous posons donc les hypothèses suivantes:

- H0 = Un cycle de 6 semaines n'apporte aucune amélioration significative sur les capacités aérobie
- H1 = Un cycle de 6 semaines apporte des améliorations significatives sur les capacités aérobie

Le groupe d'étude composé d'une quinzaine de jeunes sera donc testé une première fois, puis six semaines plus tard sans avoir subi d'entraînement spécifique, et de nouveau 6 semaines après la mise en place d'un le cycle d'entraînement spécifique des muscles respiratoires, à l'aide des tests d'évaluation (test 5' PMA). Suite à l'analyse des résultats collectés en fin de protocole, nous serons en mesure de valider l'une des deux hypothèses posées.

4 - Structure

4.1- Milieu professionnel

Actuellement en seconde année de Master STAPS: EOPS à la FSSEP de Lille, j'effectue depuis maintenant 18 mois une alternance au sein du comité régional de cyclisme des Hauts-de-France. Ayant été attiré au poste de cadre de détection et d'accompagnement de la haute performance, j'effectue de nombreuses missions tels que la gestion et l'organisation de la détection à l'échelle régionale, le suivi des athlètes listés haut niveau, l'encadrement et l'entraînement des équipes régionales ainsi que celle du TEAM FEMININ DES HAUTS-de FRANCE, équipe féminines de division nationale 2. Depuis septembre 2022, j'ai également pour mission d'animer et d'encadrer la section d'excellence sportive du lycée Van Der Mersch en musculation, afin de développer l'éducation à la pratique et l'entraînement physique des jeunes cyclistes.. Le cadre qu'offre le vélodrome couvert Jean STABLINSKI de Roubaix me permet de disposer de nombreux atouts pour diriger cette étude en m'offrant ses locaux, ainsi que le matériel nécessaire (salle de musculation moderne, piste couverte, home trainer connecté, etc).

4.2- Groupe d'étude

Cette étude a été réalisée sur les élèves de la section sportive spécialité cyclisme du lycée Van Der Mersch.

- 15 sujets (17,2 ans +/- 1,2 ans) 14 hommes et 2 femmes; pratiquant le cyclisme depuis au moins 2 ans (tableau 1)
- Tous pratiquent le cyclisme au niveau régional minimum.
- La plupart n'ont jamais pratiqué la musculation ou très peu. (moins d'une séance/semaine)
- Tous sont volontaires pour cette étude et ont signé une charte de consentement.

4.3- Matériel

Pour réaliser cette étude, les locaux du STAB Vélodrome ainsi que leur salle de musculation nous ont été mis à disposition. Lors des tests PMA, les paramètres anthropométriques (taille, masse) des athlètes ont été collectés à l'aide d'une balance et d'un mètre ruban. Chaque athlète disposé de son vélo personnel, qui a été installé sur un Home trainer connecté (Hammer Saris FTLS model 2020) servant à collecter la puissance. Aussi, afin de lire les données et d'enregistrer les valeurs de puissance, un compteur de vélo (Garmin 530 Edge) a été installé sur la potence du vélo de l'athlète testé. Pour effectuer les tests spirométriques, l'utilisation de spiromètre K5 Power Breath a permis d'effectuer des relevés, mais aussi de pratiquer des exercices lors des IMT. Les spiromètres ont effectué des relevés sur plusieurs variables physiologiques: la pression, la puissance maximale d'aspiration, le débit maximal, le volume maximal ainsi que l'énergie dépensée lors d'une inspiration maximale. Les logiciels de recueil de données Garmin Connect, Breathe Link K5 et Excel ont ensuite été utilisés pour extraire les données et les analyser.

4.4- Protocole

Afin d'étudier les performances de notre groupe, nous réaliserons une estimation de leur PMA (Puissance maximale aérobie) grâce à un test révélateur :

- Test 5 minutes

Le test d'effort 5' est largement utilisé pour évaluer la PMA chez les cyclistes. Selon une étude menée par Johnson, A. et al. (2019), une corrélation significative entre les performances réalisées à ce test et la consommation maximale d'oxygène a été révélée. Brown, R. et al. (2022) valident ce protocole de par ses résultats et sa mise en pratique simple et peu onéreuse. La fédération française de cycliste a validé ce test et le propose dans le cadre de ses détectations de niveau 3.

En amont du début du protocole, les coureurs ont eu l'opportunité de se tester sur home trainer en réalisant un test PMA (test de familiarisation), ainsi que de réaliser une séance de prévention des risques en musculation et une séance de détermination des 1RM.

Étape 1 : Réalisation du test PMA numéro 1 dans l'enceinte du vélodrome de Roubaix fin octobre avec l'aide d'un Home trainer connecté à capteurs de puissance, ainsi qu'un compteur de données (Garmin 530 edge). Suite à un échauffement de 10' d'intensité égale à 50% de leur PMA réalisé sur le test de familiarisation, les athlètes réalisent un effort maximal de 5 minutes. Une récupération active sans résistance de 5 minutes est octroyée à chacun après le test. L'ensemble des données de puissance est collecté à l'aide des logiciels Roovy et Excel. Nous retiendrons la puissance moyenne (Pmoy) réalisée durant les 5 minutes. La réalisation de 3 inspirations maximales en position debout sera réalisée à l'aide d'un spiromètre. Les valeurs collectées par le spiromètre sont la pression, la puissance maximale de l'inspiration, le débit d'air maximal lors de l'inspiration, le volume d'air maximal absorbé lors d'une inspiration et l'énergie développée. Seule la meilleure performance sera retenue.

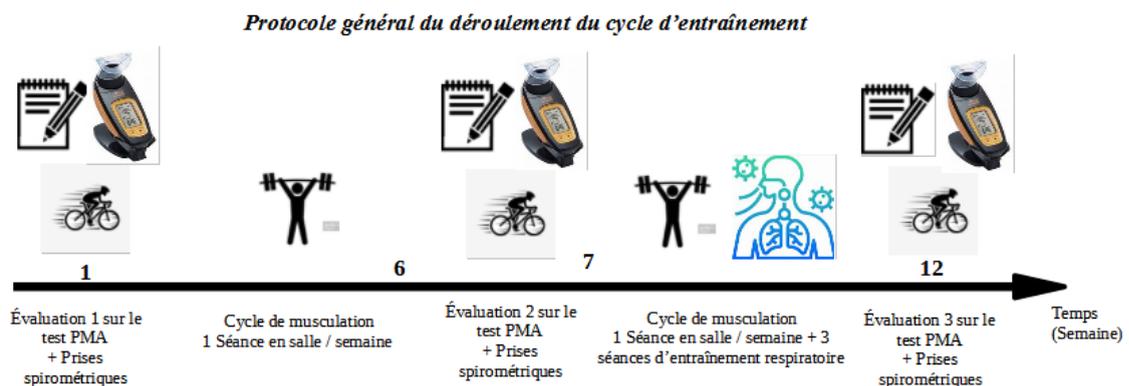
Étape 2 : L'ensemble des athlètes réalise une séance de musculation par semaine pendant 6 semaines (Tableau 6). Les séances sont axées sur un développement général des capacités physiques (Force, endurance, puissance) des jeunes athlètes. En parallèle, ils maintiennent 3 à 4 séances de cyclisme par semaine.

Étape 3 : Réalisation du test PMA numéro 2 dans l'enceinte du vélodrome de Roubaix début Janvier. Il sera strictement identique au premier. Il en est de même pour les tests spirométriques.

Étape 4 : L'ensemble des athlètes réalisent un séance de musculation par semaine pendant 6 semaines complémenté de 3 séances de 20 minutes d'entraînement des muscles respiratoires (Figure 11). Les séances sont axées sur un développement général des capacités physiques des jeunes athlètes. En parallèle, ils maintiennent 3 à 4 séances de cyclisme par semaine.

Étape 5 : Réalisation du test PMA numéro 3 et des tests spirométriques dans l'enceinte du vélodrome de Roubaix fin mars. Ils seront strictement identiques aux deux premiers.

4.5- Synoptique des tests



4.6- Analyse Statistique

Les données quantitatives seront exprimées dans les tableaux suivants. Nous vérifierons la normalité des données issues des tests PMA avec le test de Shapiro-Wilk ainsi que l'homogénéité des variances grâce au test de Levene. L'objectif sera de comparer les effets des deux cycles d'entraînement. Pour ce faire, nous ferons la différence entre les valeurs du Test 2 et du Test 1 et la différence entre les valeurs du Test 3 et du Test 2. Nous nommerons cela des deltas entre les performances réalisées. Pour comparer les deltas de performance entre les deux cycles d'entraînement, nous utiliserons un test de Student pour échantillon apparié si les données sont paramétriques ou le test de Wilcoxon si les données de l'échantillon sont non paramétriques. La taille de l'effet sera calculée à l'aide du d de Cohen. (0,2 étant considéré comme un effet faible, 0,5 comme un effet moyen, 0,8 comme un effet

élevé, 1,2 comme un effet très élevé et 2 comme un effet immense. Les valeurs seront significativement différentes si $p < 0,05$, et très significative si $p < (0,01)$. L'ensemble des tests sera réalisé via le site AnaStats sur un logiciel Excel.

5 - Analyse et résultats

5.1- Exploitation des résultats

Sur les quinze sujets présents au début de l'étude, deux ont été exclus du protocole car ils ne rentraient pas dans un système de fiabilité de l'exploitation de leurs résultats. En effet, ces sujets n'ont soit pas été assidus à toutes les séances, ou n'ont pas réalisés tous les tests. Nous avons donc une analyse statistique qui a été réalisée sur 13 sujets.

Lors des trois sessions de tests qu'ont réalisées les athlètes, différentes données ont été collectées. Nous y retrouvons les paramètres anthropométriques des athlètes (Tableau 1) ainsi que les valeurs collectées lors des 3 tests (Tableaux 2, 3 et 4 et Figures 5, 6, 7, 8, 9 et 10). La dernière colonne est le résultat du test PMA réalisé sur home trainer.

5.2- Présentation des résultats

Les résultats des analyses statistiques réalisées sur la comparaison des deltas par rapport aux moyennes des valeurs obtenues lors des tests sont présentés ci-dessous dans le tableau 5. L'ensemble des valeurs est détaillé en annexes dans les tableaux 1 à 4.

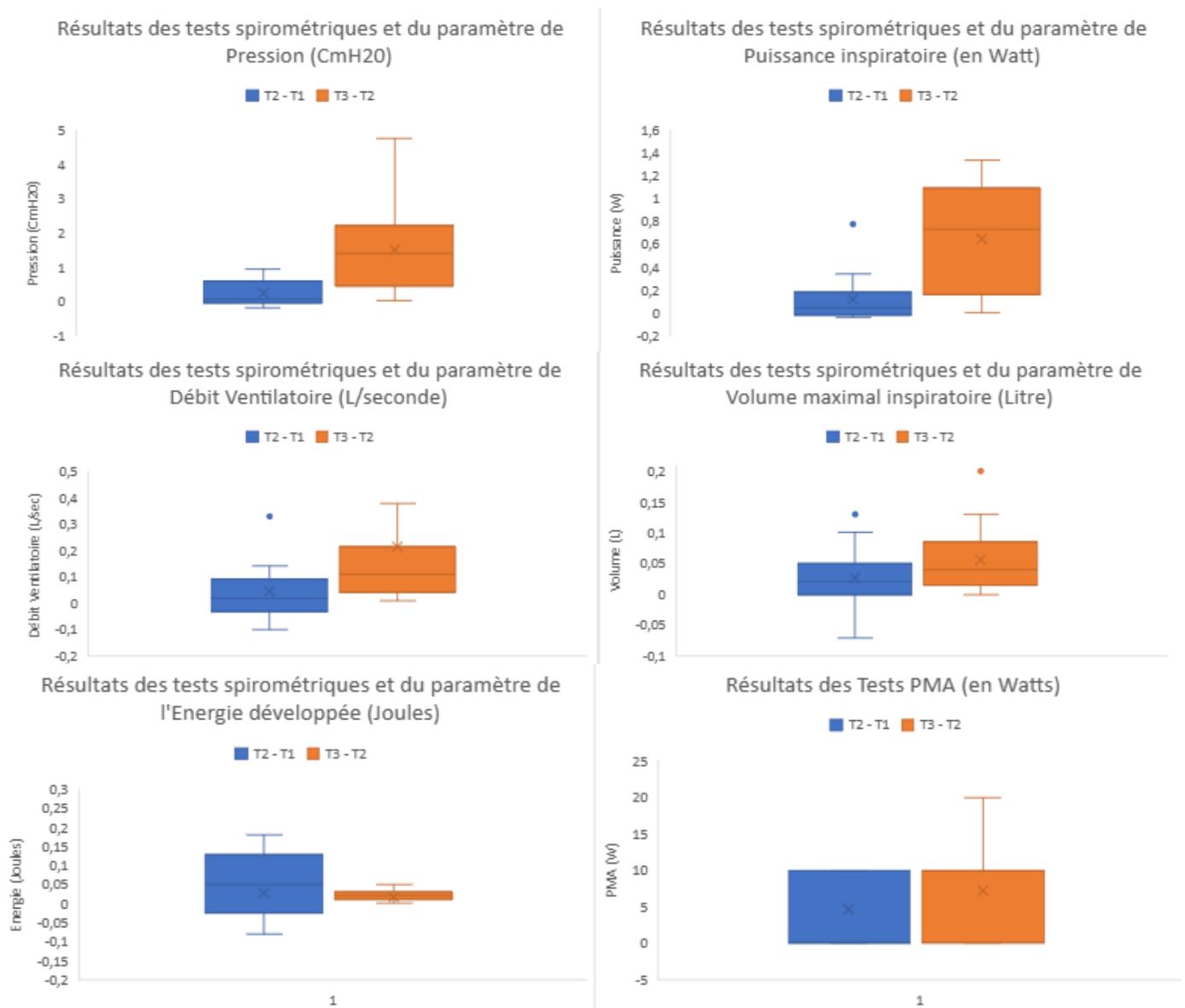
	<i>Pression</i>		<i>Puissance</i>		<i>Débit</i>	
	T2-T1	T3-T2	T2-T1	T3-T2	T2-T1	T3-T2
<i>Moyenne</i>	0,25	1,50	0,12	0,64	0,04	0,21
<i>Ecart-type</i>	0,39	1,34	0,23	0,48	0,11	0,35
<i>d Cohen</i>	1,26		1,38		0,65	
<i>p</i>	0,002**		0,001**		0,12	
	<i>Volume</i>		<i>Energie</i>		<i>PMA</i>	
	T2-T1	T3-T2	T2-T1	T3-T2	T2-T1	T3-T2
<i>Moyenne</i>	0,03	0,06	0,03	0,02	4,62	7,15
<i>Ecart-type</i>	0,05	0,06	0,21	0,01	5,19	6,15
<i>d Cohen</i>	0,54		0,10		0,44	
<i>p</i>	0,29		0,87		0,26	

Tableau 5. Comparaison des deltas des moyennes des tests réalisés durant le protocole. T1 égale test 1, T2 égale test 2 et T3 égale test 3

L'analyse statistique a révélé des différences significatives pour les paramètres de pression maximale ainsi que pour la puissance. En revanche, aucune différence significative n'est relevée pour les paramètres de débit ventilatoire, du volume et l'énergie développée ainsi que pour la PMA. La taille de l'effet de chaque variable est référencée dans le tableau 5.

La pression et la puissance ventilatoire ont été améliorées de manière significative (graphique 1). Nous pouvons observer que les scores des deltas obtenus lors des tests pour les paramètres de débit ventilatoire, volume maximal inspiré et les scores de PMA ont été augmentés. Cependant, cette augmentation n'est pas assez significative pour affirmer une amélioration. Il en est de même pour le delta concernant l'énergie dépensée afin de produire une inspiration maximale. Il a certes réduit, mais l'analyse ne révèle aucune différence probante qui pourrait être soulignée.

Ces résultats nous montrent que ce protocole d'entraînement a entraîné des améliorations sur deux paramètres respiratoires chez les athlètes. Cependant, il nous est impossible d'affirmer que l'entraînement des muscles respiratoires a eu des effets bénéfiques sur l'amélioration de la PMA chez les jeunes athlètes entraînés.



Graphique 1 : Présentation des deltas par rapport aux moyennes des valeurs obtenues lors des tests

6 - Discussion

6.1- Interprétations

Pour rappel, les hypothèses que nous nous étions posées en début d'études étaient les suivantes :

- H0 = Un cycle de 6 semaines n'apporte aucune amélioration significative sur les performance aérobie
- H1 = Un cycle de 6 semaines apporte des améliorations significatives sur les capacités aérobie

Dans un premier temps, nous validerons l'hypothèse H0 car l'analyse statistique n'a révélé aucune différence significative sur les résultats des tests PMA. Néanmoins, les statistiques révèlent quelques résultats probants et significatifs pour plusieurs paramètres physiologiques : la pression et la puissance. Les résultats obtenus sur ces deux paramètres sont très significatifs. Nous restons persuadés que les entraînements des muscles respiratoires ont contribué à des adaptations physiologiques qu'un simple entraînement n'aurait pas permis. Cette étude conforte le fait que l'entraînement des muscles respiratoires joue un rôle permettant d'obtenir des gains de performance aérobie par le biais d'adaptations physiologiques lorsqu'on la compare aux autres études qui ont été menées sur le sujet. Shei (2018) suite à une revue systématique que l'IMT permet l'amélioration et le développement de nombreux paramètres physiologiques tels qu'une ventilation plus efficace, un meilleur transfert d'oxygène ou encore une libération de cytokines plus efficace. Verges et al. (2008) démontrent une amélioration des sensations de respiration à l'effort. Si nous nous penchons sur les résultats concernant l'énergie produite par les muscles respiratoires pour effectuer une inspiration maximale, on constate que cette variable n'a pas évolué significativement. Or la puissance lors d'une inspiration maximale a elle augmenté de manière significative. Nous pouvons donc interpréter ceci: l'IMT a pu provoquer une réduction du coût énergétique. En effet, si pour une même quantité d'énergie dépensée, l'action menée engendre plus de puissance, cela signifie alors qu'un phénomène d'efficacité énergétique s'est produit. Mackala et al. (2019) ont à travers leurs recherches confirmé que l'IMT réalisé auprès de jeunes footballeurs, entraîne une augmentation de l'efficacité du système respiratoire.

6.2- Limites de l'étude

Malgré l'ensemble de résultats encourageants mais non significatifs, cette étude comporte certaines limites, offrant quelques biais d'interprétation. Pour commencer, le groupe d'athlètes a suivi une préparation pour une saison de compétition sur route. En effet, entre les deux périodes d'entraînement du protocole, la reprise des compétitions s'est effectuée. Les coureurs ont donc effectué 4 à 6 courses sur la seconde période d'entraînement, contre seulement 1 à 3 sur la première période. Cette augmentation de la charge, de par l'intensité de l'activité peut avoir impacté positivement les résultats en stimulant davantage l'organisme provoquant ainsi de plus grands changements métaboliques. Initialement, un groupe contrôle avait été programmé dans la méthodologie. La taille réduite de l'échantillon d'athlètes disponibles nous a contraint à changer la méthodologie d'étude. La mise en place d'un groupe contrôle aurait divisé l'échantillon par deux et aurait réduit la fiabilité des résultats et de l'analyse statistique. Il est évident que pour une question de coût et de mise en pratique, l'utilisation d'échangeur gazeux aurait permis une plus grande fiabilité afin d'estimer les performances aérobies.

6.3- Application sur le terrain

Ce test de terrain est simple à réaliser (hormis le coût du matériel) et pertinent pour obtenir des axes de travail dans une planification d'entraînement. Le travail des muscles respiratoires en parallèle des séances de préparation physique est un très bon complément, en particulier lors des périodes de préparations. Nous le recommandons dès les jeunes catégories, et en particulier chez les publics atteints de maladie respiratoire chronique ou de retour de maladie respiratoire aiguë. Afin de maximiser les effets et l'assiduité des athlètes, il est important d'apporter une dimension ludique ou de la compétition dans les séances.

6.4- Perspectives

Comme démontré par Daniel G et al. (2019), l'IMT peut se coupler à un travail en hypoxie. C'est pourquoi envisager des perspectives d'études à ce sujet, avec un travail en tente hypoxique pourrait décupler les effets de ce protocole. Cela serait une avancée considérable et permettrait de développer ces aspects cardiorespiratoires sans avoir à déplacer des athlètes sur des sites en altitude. Il en est de même pour effectuer ce type de protocole

durant une préparation hivernale complète sans interférence avec des compétitions et un groupe de sujets plus conséquent afin de mettre en place un groupe contrôle et un groupe expérimental. L'utilisation d'échangeur gazeux serait une réelle opportunité d'avoir des valeurs encore plus précises. Cependant, l'ouverture sur ce nouvel axe de travail a soulevé des interrogations sur un outil utilisé pour stimuler la respiration lors de l'échauffement chez les cyclistes à savoir les essences algériennes et autres simulis de la libération des voies aériennes supérieures. En effet, aucune étude fiable n'a proposé des protocoles sur les effets de ces huiles essentielles sur des potentiels gains de performance. Outre leurs propriétés décongestionnantes temporaires des voies aériennes permettant de retrouver une sensation de respiration aisée et de purification des voies aériennes supérieur, aucune étude les lie scientifiquement à un gain de performance. C'est pourquoi il serait intéressant de se pencher à l'avenir sur ce sujet. Il en est de même pour les pansements d'ouverture nasale (c'est quoi ? à développer ??). De nombreuses pistes de recherches sont donc à exploiter pour le développement des fonctions respiratoires.

Les méthodes de relaxation ou d'activation basées sur la respiration peuvent aussi s'ajouter au protocole et être développées lors de séances spécifiques, en particulier des méthodes telles que la respiration yogique, connue sous le nom de respiration Kapalabhati. Ciblante principalement les muscles de l'abdomen et le diaphragme, cette technique dynamisante pourrait être l'objet de recherches dans le but d'étudier son impact sur la performance. Burtch et al. (2017) ont tenté de démontrer les effets du contrôle respiratoire sur la fatigue des muscles respiratoires mais sans résultats significatifs. Néanmoins, ils laissent entendre que ces méthodes peuvent prévenir la fatigue des muscles inspiratoires. Il semble donc logique que l'entraînement des muscles respiratoires entraîne des adaptations physiologiques et des gains de performance, parfois minimes mais nécessaires à la haute performance (Neves et al. 2014).

7- Conclusion

Les résultats de cette étude ont montré que le protocole n'a pas amélioré significativement les performances aérobies mais a conduit à des adaptations physiologiques à certains niveaux, telle que l'amélioration de la puissance d'inspiration. Quelques réserves ont été émises sur ces résultats. Malgré tout, nous pouvons certifier la validité de l'ensemble des valeurs obtenues lors des différents tests. Ces mesures individuelles ont permis d'alimenter les bases de données de la FFC. Nous rappelons que la problématique de ce mémoire est : Un cycle de six semaines d'entraînement des muscles respiratoires couplé à une base d'entraînement cycliste chez un public adolescent a-t-il des effets bénéfiques sur les performances aérobies ?

Comme évoqué précédemment, nous avons obtenu des résultats non significatifs dans le développement de la puissance maximale aérobie, ainsi que sur certains des paramètres respiratoires. Cela nous conforte que la mise en place d'un protocole d'entraînement des muscles respiratoires peut avoir des effets bénéfiques sur les variables respiratoires de l'athlète et à long terme sur sa PMA. Certains ajustements seront sûrement à réaliser afin d'obtenir des résultats des plus concluants (en particulier sur la durée du protocole et son positionnement dans une saison). Aujourd'hui, la haute performance se joue sur des détails et nous sommes amenés à préparer les athlètes, sans oublier le moindre paramètre qui pourrait les faire évoluer, y compris un des fondamentaux : la respiration.

8- Bibliographie

- Alejo, Lidia B., Almudena Montalvo-Pérez, Pedro L. Valenzuela, Carlos Revuelta, Laureano M. Ozcoidi, Víctor de la Calle, Manuel Mateo-March, Alejandro Lucia, Alfredo Santalla, et David Barranco-Gil. 2022. « Comparative Analysis of Endurance, Strength and Body Composition Indicators in Professional, under-23 and Junior Cyclists ». *Frontiers in Physiology* 13: 945552.
<https://doi.org/10.3389/fphys.2022.945552>.
- Almazan, Amaya Jimeno. 2021. « Post-COVID-19 Syndrome and the Potential Benefits of Exercise ». <https://doi.org/10.3390/ijerph18105329>.
- Breathe Link. s. d. « Power Breathe ». <https://www.powerbreathe.com/breathe-link-software/>.
- Brown, R. et al. 2022. « Comparison of different maximal aerobic power tests in cyclists. » 36: 789-95.
- Burke, E. R., F. Cerny, D. Costill, et W. Fink. 1977. « Characteristics of Skeletal Muscle in Competitive Cyclists ». *Medicine and Science in Sports* 9 (2): 109-12.
- Burtch, Alex R., Ben T. Ogle, Patrick A. Sims, Craig A. Harms, T. Brock Symons, Rodney J. Folz, et Gerald S. Zavorsky. 2017. « Controlled Frequency Breathing Reduces Inspiratory Muscle Fatigue ». *Journal of Strength and Conditioning Research* 31 (5): 1273-81. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001589>.
- Bury, T., et S. Hody. 2018. « Préparation physique et système respiratoire : les limites de l'adaptation ». *Journal de Traumatologie du Sport* 35 (3): 148-51.
<https://doi.org/10.1016/j.jts.2018.07.002>.
- Dahhak, Amine, Nele Devoogdt, et Daniel Langer. 2022. « Adjunctive Inspiratory Muscle Training During a Rehabilitation Program in Patients With Breast Cancer: An Exploratory Double-Blind, Randomized, Controlled Pilot Study ». *Archives of Rehabilitation Research and Clinical Translation* 4 (2): 100196.
<https://doi.org/10.1016/j.arrct.2022.100196>.
- Daniel G Hursh, Marissa N Baranauskas, Chad C Wiggins, Shane Bielko, Timothy D Mickleborough, Robert F Chapman. 2019. « Inspiratory Muscle Training: Improvement of Exercise Performance With Acute Hypoxic Exposure ». <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0483>.
- DeLucia, Claire M., Dallin Tavoian, Dean R. Debonis, E. Wyatt Snell, Sarah M. Schwyhart, et E. Fiona Bailey. 2022. « A Short Course of High-Resistance, Low-Volume Breathing Exercise Extends Respiratory Endurance and Blunts Cardiovascular Responsiveness to Constant Load Respiratory Testing in Healthy Young Adults ». *Respiratory Physiology & Neurobiology* 307 (septembre): 103974.
<https://doi.org/10.1016/j.resp.2022.103974>.
- Dorel, S., C. A. Hautier, O. Rambaud, D. Rouffet, E. Van Praagh, J.-R. Lacour, et M. Bourdin. 2005. « Torque and Power-Velocity Relationships in Cycling: Relevance to

- Track Sprint Performance in World-Class Cyclists ». *International Journal of Sports Medicine* 26 (9): 739-46. <https://doi.org/10.1055/s-2004-830493>.
- Douglas, Jamie, Angus Ross, et James C. Martin. 2021. « Maximal Muscular Power: Lessons from Sprint Cycling ». *Sports Medicine - Open* 7 (1): 48. <https://doi.org/10.1186/s40798-021-00341-7>.
- FUB. 2020. « Sondage FUB ». <https://www.fub.fr/>.
- García-De Frutos, José Manuel, Fco Javier Orquín-Castrillón, Pablo Jorge Marcos-Pardo, Jacobo Á Rubio-Arias, et Alejandro Martínez-Rodríguez. 2021. « Acute Effects of Work Rest Interval Duration of 3 HIIT Protocols on Cycling Power in Trained Young Adults ». *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18 (8): 4225. <https://doi.org/10.3390/ijerph18084225>.
- García-Pinillos, Felipe, Jose C. Cámara-Pérez, Víctor M. Soto-Hermoso, et Pedro Á Latorre-Román. 2017. « A High Intensity Interval Training (HIIT)-Based Running Plan Improves Athletic Performance by Improving Muscle Power ». *Journal of Strength and Conditioning Research* 31 (1): 146-53. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001473>.
- Gasser, Benedikt, Annika Frei, David Niederseer, Silvio Catuogno, Walter O. Frey, et Martin Flück. 2022. « Variability in the Aerobic Fitness-Related Dependence on Respiratory Processes During Muscle Work Is Associated With the ACE-I/D Genotype ». *Frontiers in Sports and Active Living* 4: 814974. <https://doi.org/10.3389/fspor.2022.814974>.
- Gouvernement.fr. 2023. « Site Officiel du ministère de la santé - onglet Covid 19 ». <https://www.gouvernement.fr/info-coronavirus>.
- Grappe, Frédéric. 2012. *Puissance et performance en cyclisme*. De Boeck Supérieur.
- Hellyer, Nathan J., Ian A. Folsom, Dan V. Gaz, Alynn C. Kakuk, Jessica L. Mack, et Jaclyn A. Ver Mulm. 2015. « Respiratory Muscle Activity During Simultaneous Stationary Cycling and Inspiratory Muscle Training ». *Journal of Strength and Conditioning Research* 29 (12): 3517-22. <https://doi.org/10.1097/JSC.0000000000000238>.
- Illi, Sabine K. 2012. « Effect of respiratory muscle training on exercise performance in healthy individuals: a systematic review and meta-analysis ». <https://doi.org/10.1007/BF03262290>.
- Johnson, A. et al. 2019. « Reliability of a 5-minute cycle ergometer test to determine peak aerobic power in male and female cyclists. »
- Kasai, Nobukazu, Fumiya Tanji, Aya Ishibashi, Hayato Ohnuma, Hideyuki Takahashi, Kazushige Goto, et Yasuhiro Suzuki. 2021. « Augmented Muscle Glycogen Utilization Following a Single Session of Sprint Training in Hypoxia ». *European Journal of Applied Physiology* 121 (11): 2981-91. <https://doi.org/10.1007/s00421-021-04748-8>.

- Mackała, Krzysztof, et al. 2019. « The Effect of Respiratory Muscle Training on the Pulmonary Function, Lung Ventilation, and Endurance Performance of Young Soccer Players ». <https://doi.org/10.3390/ijerph17010234>.
- Markov, G., C. M. Spengler, C. Knöpfli-Lenzin, C. Stuessi, et U. Boutellier. 2001. « Respiratory Muscle Training Increases Cycling Endurance without Affecting Cardiovascular Responses to Exercise ». *European Journal of Applied Physiology* 85 (3-4): 233-39. <https://doi.org/10.1007/s004210100450>.
- Martinez-Valdes, Eduardo, Dario Farina, Francesco Negro, Alessandro Del Vecchio, et Deborah Falla. 2018. « Early Motor Unit Conduction Velocity Changes to High-Intensity Interval Training versus Continuous Training ». *Medicine and Science in Sports and Exercise* 50 (11): 2339-50. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001705>.
- NETTER, Franck. 2019. *Atlas d'Anatomie Humaine*. Elsevier Masson. 7ème volume.
- Neves, Leonardo F, Manoela H Reis, Rodrigo Dm Plentz, Darlan L Matte, Christian C Coronel, et Graciele Sbruzzi. 2014. « Expiratory and Expiratory Plus Inspiratory Muscle Training Improves Respiratory Muscle Strength in Subjects With COPD: Systematic Review ». *Respiratory Care* 59 (9): 1381-88. <https://doi.org/10.4187/respcare.02793>.
- Ou, Haining, Yuxin Zheng, Mei Li, Junjie Liang, Hongxin Chen, Shijuan Lang, Qinyi Li, et al. 2022. « The Impacts of Surgical Mask in Young Healthy Subjects on Cardiopulmonary Function and Muscle Performance: A Randomized Crossover Trial ». *Archives of Public Health = Archives Belges De Sante Publique* 80 (1): 138. <https://doi.org/10.1186/s13690-022-00893-4>.
- Shei, Ren-Jay. 2018. « Recent Advancements in Our Understanding of the Ergogenic Effect of Respiratory Muscle Training in Healthy Humans: A Systematic Review ». *Journal of Strength and Conditioning Research* 32 (9): 2665-76. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002730>.
- Silva, Julio César Lima da, O. Tarassova, M. M. Ekblom, E. Andersson, G. Rönquist, et A. Arndt. 2016. « Quadriceps and Hamstring Muscle Activity during Cycling as Measured with Intramuscular Electromyography ». *European Journal of Applied Physiology* 116 (9): 1807-17. <https://doi.org/10.1007/s00421-016-3428-5>.
- Verges, Samuel, Urs Kruttli, Bernhard Stahl, Ralf Frigg, et Christina M. Spengler. 2008. « Respiratory Control, Respiratory Sensations and Cycling Endurance after Respiratory Muscle Endurance Training ». *Advances in Experimental Medicine and Biology* 605: 239-44. https://doi.org/10.1007/978-0-387-73693-8_42.
- Zatsiorsky, Vladimir, William Kraemer, et Andrew C Fry. 2021. *La Force*. 4 TRAINER.
- Zoladz, J. A., A. C. Rademaker, et A. J. Sargeant. 2000. « Human Muscle Power Generating Capability during Cycling at Different Pedalling Rates ». *Experimental Physiology* 85 (1): 117-24.

9- Annexes

Paramètres Antropométriques				
Sujets	Age (Années)	Masse (kg)	Taille (cm)	Sexe
Athlète 1	17	55	165	H
Athlète 2	16	61	179	H
Athlète 3	17	52	173	H
Athlète 4	17	76	182	H
Athlète 5	16	55	169	F
Athlète 6	16	67	171	H
Athlète 7	16	74	180	H
Athlète 8	15	57	173	H
Athlète 9	16	70	187	H
Athlète 10	15	48	170	H
Athlète 11	15	66	188	H
Athlète 12	16	68	178	H
Athlète 13	17	64	173	H
Moyenne	16,08	62,54	176,00	
Ecart-type	0,76	8,67	7,00	

Tableau 1 : Paramètres anthropométriques et sexe des 13 sujets qui ont réalisé le protocole dans l'intégralité.

Test 1						
Sujets	Pression (CmH20)	Puissance (Watts)	Débit (Litres/sec)	Volume (Litres)	Energie (Joules)	PMA (Watts)
Athlète 1	43,91	13,21	6,16	3,38	3,02	370
Athlète 2	45,14	21,33	7,79	4,3	6,66	380
Athlète 3	25,39	13,02	7,47	3,14	4,26	310
Athlète 4	36,73	17,12	7,78	3,84	5,44	360
Athlète 5	67,08	11,76	5,54	3	2,28	310
Athlète 6	44,79	24,87	8,4	4,5	7,16	360
Athlète 7	39,3	15,51	6,64	3,07	3,98	340
Athlète 8	74,01	22,35	5,61	3,06	2,82	320
Athlète 9	46,62	11,93	6,05	2,4	2,64	370
Athlète 10	23,66	9,48	5,42	3,22	2,76	300
Athlète 11	47,57	18,25	7,67	4,11	6,66	340
Athlète 12	60,21	33,56	8,5	4,03	7,52	340
Athlète 13	43,42	15,1	6,72	3,88	4,46	340
Moyenne	45,99	17,50	6,90	3,53	4,59	341,54
Ecart-type	14,44	6,63	1,09	0,62	1,89	25,77

Tableau 2 : Résultats des tests numéro 1 spirométriques et de PMA sur home trainer.

Test 2						
Sujets	Pression (CmH20)	Puissance (Watts)	Débit (Litres/sec)	Volume (Litres)	Energie (Joules)	PMA (Watts)
Athlète 1	43,98	13,22	6,16	3,39	3,1	370
Athlète 2	45,1	21,3	7,78	4,34	6,65	380
Athlète 3	25,8	13,8	7,8	3,14	4,4	320
Athlète 4	36,76	17,19	7,8	3,86	5,45	360
Athlète 5	68,01	11,92	5,6	3,13	2,4	320
Athlète 6	44,74	24,83	8,3	4,47	6,6	360
Athlète 7	39,1	15,5	6,6	3	3,9	340
Athlète 8	74,81	22,55	5,71	3,16	3,2	330
Athlète 9	46,6	11,9	6	2,4	2,6	380
Athlète 10	23,6	9,5	5,4	3,26	2,81	310
Athlète 11	47,77	18,29	7,81	4,15	6,7	340
Athlète 12	61,12	33,9	8,58	4,09	7,7	350
Athlète 13	43,72	15,18	6,79	3,89	4,52	340
Moyenne	46,24	17,62	6,95	3,56	4,62	346,15
Ecart-type	14,72	6,65	1,11	0,62	1,82	22,93

Tableau 3 : Résultats des tests numéro 2 spirométriques et de PMA sur home trainer.

Test 3						
Sujets	Pression (CmH20)	Puissance (Watts)	Débit (Litres/sec)	Volume (Litres)	Energie (Joules)	PMA (Watts)
Athlète 1	45,4	14,21	6,54	3,52	3,14	370
Athlète 2	46,8	22,5	7,98	4,41	6,67	385
Athlète 3	25,9	14,53	7,89	3,22	4,41	320
Athlète 4	37,9	17,77	7,93	3,89	5,47	370
Athlète 5	71,04	12,69	5,71	3,17	2,42	333
Athlète 6	46,24	24,89	8,42	4,48	6,6	370
Athlète 7	39,8	15,8	6,63	3,2	3,91	340
Athlète 8	76,34	23,35	5,76	3,16	3,23	340
Athlète 9	46,9	11,99	6,23	2,44	2,61	380
Athlète 10	26,3	10,77	5,41	3,29	2,82	320
Athlète 11	47,79	18,29	7,89	4,17	6,75	350
Athlète 12	65,87	35,24	9,91	4,09	7,73	355
Athlète 13	44,32	15,41	6,81	3,98	4,52	360
Moyenne	47,74	18,26	7,16	3,62	4,64	353,31
Ecart-type	15,29	6,75	1,30	0,60	1,82	21,60

Tableau 4 : Résultats des tests numéro 3 spirométriques et de PMA sur home trainer.

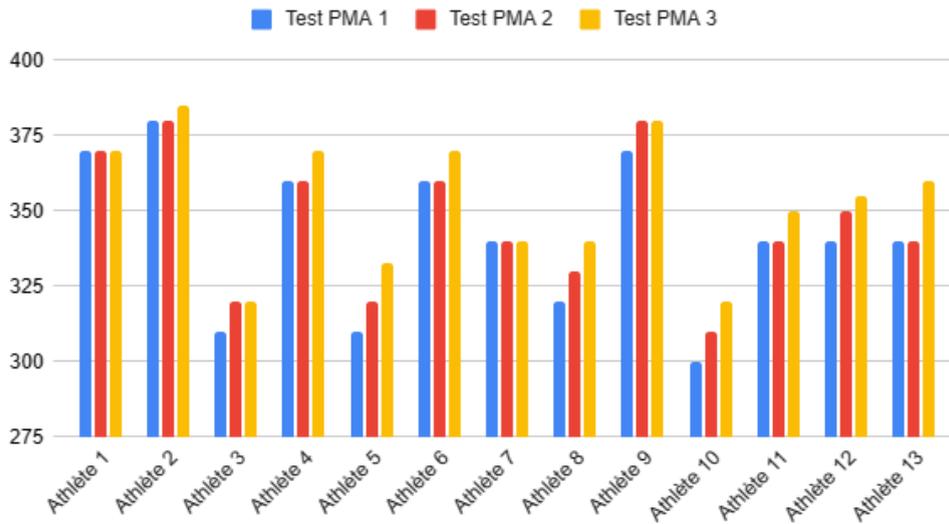


Figure 5: Résultats des Tests PMA

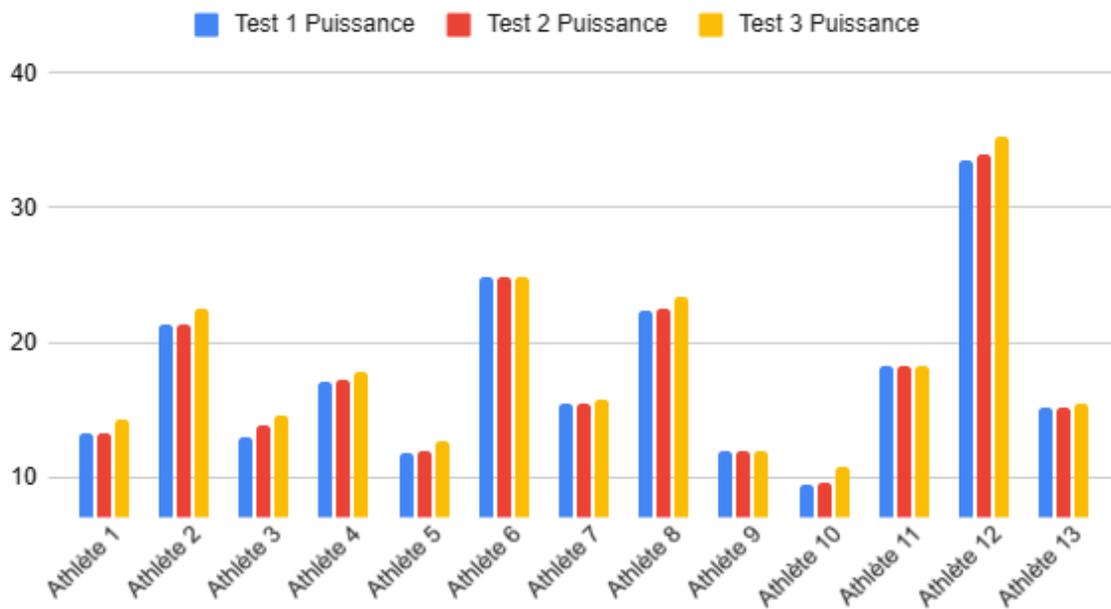


Figure 6 : Résultats des tests spirométriques et du paramètre de Puissance inspiratoire (en Watt)

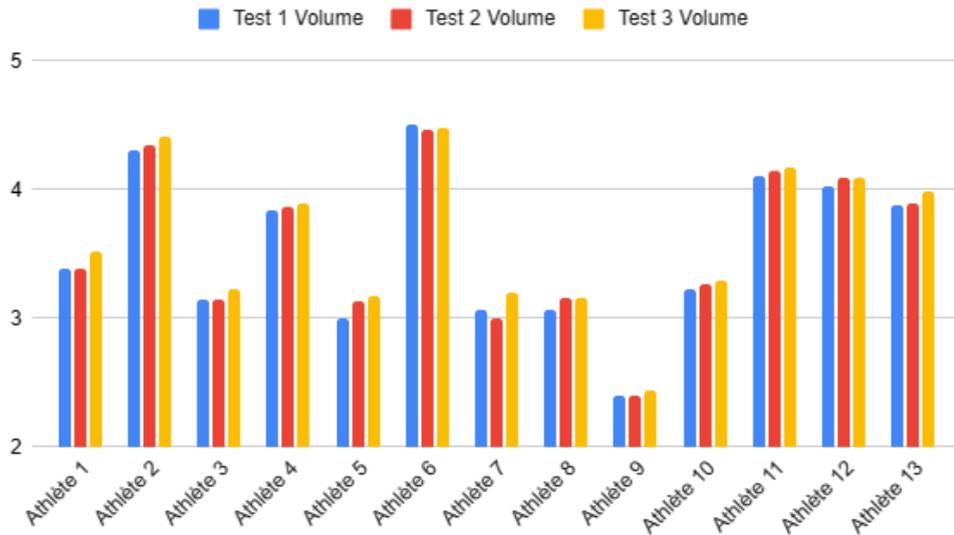


Figure 7 : Résultats des tests spirométriques et du paramètre de Volume maximal inspiratoire (Litre)

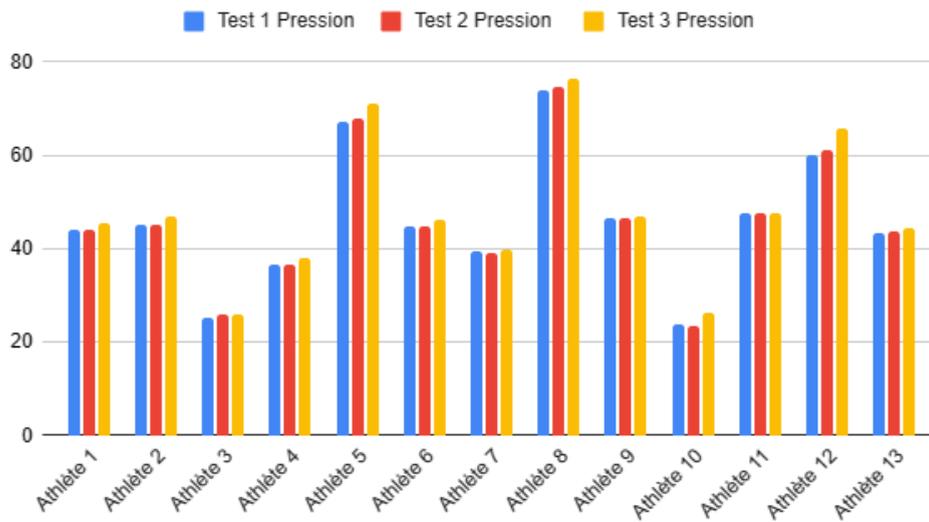


Figure 8 : Résultats des tests spirométriques et du paramètre de Pression (CmH20)

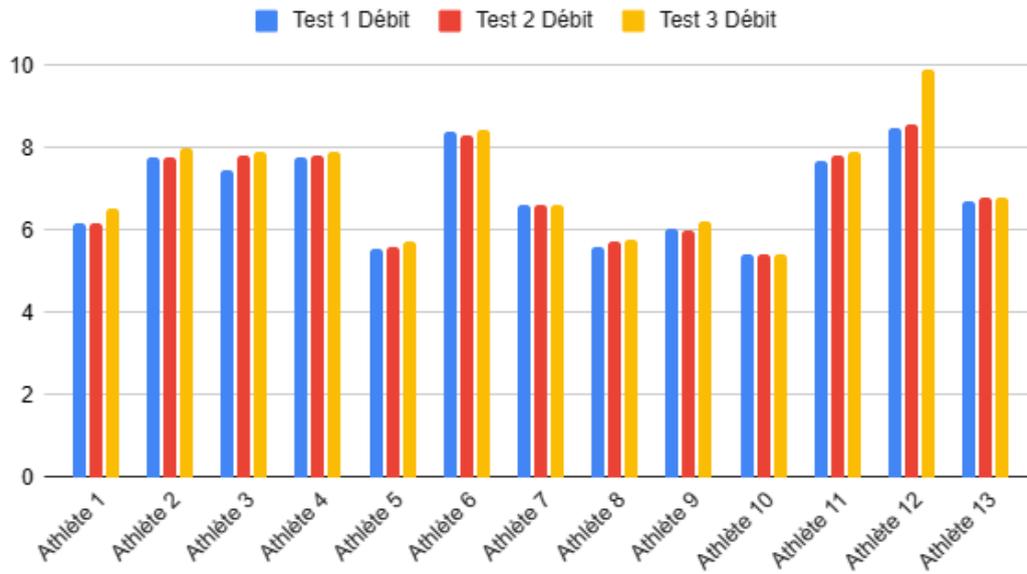


Figure 9 : Résultats des tests spirométriques et du paramètre de Débit Ventilatoire (L/seconde)

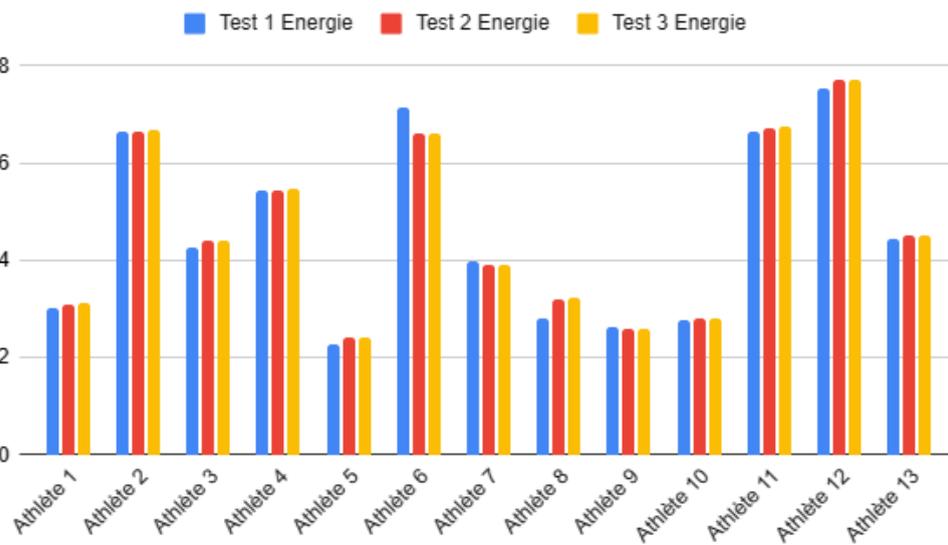


Figure 10 : Résultats des tests spirométriques et du paramètre de l'Energie développée (Joules)

Inspiratory Muscle Training Séance 1

Groupe 1

Echauffement :

Inspiration Triangulaire :

-1" inspi

-3" expi

-2" bloc

4x 20" / R=20sec

3 inspiration max / R=20"

Groupe 2

Echauffement :

Inspiration Triangulaire :

-1" inspi

-3" expi

-2" bloc

4x 20" / R=20sec

3 inspiration max / R=20"

Le Groupe 1 commencera avec les spiromètres. Inversement à mi-séance pour transfert des outils entre groupe.

Séance :

Inspiration sous résistance spiro +20% / Cycle naturel

Inspiration à 80% d'I_{max}

6x 30" R= 1'

Inspiration sous résistance spiro +40% / Cycle forcé

Inspiration à max

6x 5rep R= 1'30

Inspiration sous résistance complète (avec paille alu)

Maintenir > 7' une bille à bout portant

Réaliser 10 sessions de réussite

Jeu collectif : relais des pailles

Se passer la bille de paille en paille sans la faire tomber



Figure 11 : Exemple de fiche d'entraînement réaliser durant l'IMT

Semaine	Entraînement IMT	Entraînement Musculation
1	Tests	Tests
2	/	Force
3	/	Force
4	/	Puissance
5	/	Puissance
6	/	Puissance
7	/	Puissance
8	Tests	Tests
9	Force	Explosivité
10	Force	Explosivité
11	Endurance	Explosivité
12	Endurance	Explosivité
13	Puissance	Rappel Force
14	Puissance	Rappel Force
15	Tests	Tests

Tableau 6 : Planification des séances d'IMT et de musculation.

10- Résumé et Mots Clés

Objectifs: L'objectif de ce mémoire était d'observer l'influence d'un travail sur les muscles respiratoires chez des cyclistes en plus de leurs entraînements afin de voir si cela avait un impact sur leur capacité de puissance maximale aérobie. C'est par le biais d'un test spécifique à la discipline du cyclisme que les sujets seront évalués sur leur progression.

Méthode: 12 sujets masculins et 1 sujet féminin, issus des catégories cadets et juniors (15-18 ans) ont effectué un protocole d'entraînement des muscles respiratoires d'une durée de 6 semaines ainsi que des tests spirométriques d'évaluations de la performance respiratoire avant/ après protocole. Le protocole est le suivant: pré test (Spirométrie + PMA), suivi de 6 semaines d'entraînement sans spécificité. Testing numéro 2 identiques aux pré test. De nouveau 6 semaines d'entraînement accompagné de 3 sessions par semaine de 20 minutes d'entraînement des muscles respiratoires. L'étude se termine par une troisième session de test identique aux deux premières.

Résultats: La comparaison des résultats pré/post protocole a révélé des données normales et homogène (test de Shapiro-Wilk et de Levene). Un test de Student de comparaison de deux moyennes sur échantillons appariés a été réalisé. Il se révèle qu'il y a eu des améliorations significatives sur les valeurs de pression et de puissance inspiratoire ($p < 0,001$) mais aucun résultat significatif sur la PMA et autres variables physiologiques.

Conclusion: L'ensemble des résultats et les analyses statistiques montrent que le protocole n'a pas permis d'améliorer les performances en termes de puissance maximale aérobie, mais l'entraînement des muscles respiratoires a conclu à des adaptations physiologiques impliquées dans le mécanisme de la respiration.

Mots clés: Cyclisme, Jeunes, Puissance, Musculation, Respiration, Aérobie, Préparation physique, Inspiration.

11- Abstract and keywords

Objectives: The objective of this thesis was to observe the influence of work on the respiratory muscles in cyclists in addition to their training in order to see if this had an impact on their maximum aerobic power capacity. It is through a test specific to the discipline of cycling that the subjects will be evaluated on their progress.

Method: 12 male subjects and 1 female subject, from the cadet and junior categories (15-18 years old) carried out a 6-week respiratory muscle training protocol as well as spirometric performance evaluation tests breathing before/after protocol. The protocol is as follows: pre-test (Spirometric + PMA), followed by 6 weeks of training without specificity. Testing number 2 identical to the pre-test. Again 6 weeks of training accompanied by 3 sessions per week of 20 minutes of respiratory muscle training. The study ends with a third test session identical to the first two.

Results: The comparison of the pre/post protocol results revealed normal and homogeneous data (Shapiro-Wilk and Levene test). A Student's test of comparison of two means on paired samples was carried out. It turns out that there were significant improvements on pressure and inspiratory power values ($p < 0.001$) but no significant results on PMA and other physiological variables.

Conclusion: All the results and the statistical analyzes show that the protocol did not improve performance in terms of maximum aerobic power, but the training of the respiratory muscles concluded with physiological adaptations involved in the mechanism of breathing.

Keywords: Cycling, Youth, Power, Bodybuilding, Breathing, Aerobics, Physical preparation, Inspiration.

12- Compétences

Cette seconde année passée dans le Nord à l'université de Lille a été intense en terme de travail mais aussi en expérience et apprentissage. La promotion de mon poste au niveau de la performance dans mon alternance m'a permis de mettre en application l'ensemble des connaissances acquises réalisées durant mon Master.

Cette année de recherche m'a une nouvelle fois poussé à approfondir mes connaissances sur un domaine que j'ai longtemps négligé dans mon entraînement et qui aujourd'hui est à mes yeux essentiel pour performer. Cette rigueur de travail s'est invitée dans mon quotidien et de nouvelles portes se sont ouvertes telles que l'organisation d'évènements nationaux ou la direction d'équipe et de staff.

Mes recherches effectuées en collaboration avec la fédération française de cyclisme m'ont donné une certaine forme de crédibilité aux yeux de mes pairs et ont développé mon réseau professionnel.

Pour conclure, ce projet m'a apporté de l'expérience supplémentaire et de la polyvalence en termes de connaissances scientifiques, de méthodologie à la recherche et des connaissances pour la manipulation d'outils d'analyses scientifiques.

Je suis satisfait de l'ensemble des efforts fournis pour la réalisation de ce mémoire, ainsi que de l'encadrement proposé par ma tutrice pédagogique. L'université de Lille et ses enseignants ont été un réel point de satisfaction dans mon cursus scolaire.

Pour terminer cette année, mon dynamisme, ma rigueur et mon sens du relationnel m'ont permis de décrocher un contrat de travail au poste de directeur et d'entraîneur de Pôle Espoir cyclisme en Bretagne.