

## **MASTER STAPS**

**ENTRAÎNEMENT ET OPTIMISATION DE LA PERFORMANCE SPORTIVE**

**ANNÉE UNIVERSITAIRE 2022-2023**

### **MÉMOIRE**

**TITRE : LES EFFETS DE DIFFÉRENTES  
UTILISATIONS DES JAMBES LORS  
D'UNE NATATION SUR LA PUISSANCE  
LORS D'UNE ENCHAINEMENT  
CYCLISME ET COURSE A PIED D'UN  
TRIATHLON SIMULE**

**PRÉSENTÉ PAR : Alexis Hupin**

**SOUS LA DIRECTION DE : Mr Jérémy Coquart**

**SOUTENU LE 27/06/2023**

**DEVANT LE JURY : Mme Murielle Garcin, Mr Yohan  
Roussel, Mr Philippe Campillo**



## **Remerciements :**

Je tiens à remercier en premier lieu mon tuteur de mémoire, Jérémy Coquart, pour ses conseils, sa compréhension et sa présence durant l'écriture de ce mémoire.

Je remercie Mme Murielle Garcin, pour l'opportunité d'avoir pu participer à ce Master, cette formation ne serait pas la même sans elle, cette faculté ne serait pas la même sans elle.

Je désire remercier également ma structure d'accueil pour cette alternance, Lomme Natation Triathlon, pour m'avoir ouvert ses portes et m'avoir permis de m'exprimer au sein du club.

Je remercie également Laurence De Jaeghere, Francis De Jaeghere, Marie Françoise de Jaeghere pour leur confiance et m'avoir permis de m'engager auprès de leur établissement. Vous m'avez donné les mains libres afin que je puisse exprimer mes souhaits et mes compétences.

Je remercie mes camarades de promotion, qui m'ont donné la motivation et avec qui j'ai apprécié de discuter des différents sujets de mémoire et des méthodes pour accomplir cette première et seconde partie.

Je remercie Marie Laure Grandjean pour l'aide logistique et la motivation. Elle est toujours derrière moi après toutes ces années.

**« 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. »**

## Sommaire :

<b>Introduction.....</b>	<b>8</b>
<b>1. Revue de littérature.....</b>	<b>8</b>
1.1 Historique et épreuves.....	8
<b>2. Aspects physiologiques du Triathlon.....</b>	<b>11</b>
2.1 Natation.....	11
2.1.1 Les effets du port de la combinaison sur la performance dans la natation en eau libre..	11
2.1.2 Efficacité technique et coordination en natation.....	13
2.1.3 L'aspiration, ou "drafting" pendant la natation en triathlon.....	14
2.1.4 Les effets de la partie natation sur la performance lors de l'enchaînement à vélo en triathlon.....	15
2.2 Cyclisme.....	17
2.2.1 L'abri pendant la partie vélo du Triathlon.....	17
2.2.2 Les demandes physiologiques d'une course en format Contre-La-Montre et en format critérium.....	19
2.3 Course à pied.....	21
2.3.1 Les effets de la partie cycliste sur la performance en course à pied.....	21
<b>3. Problématique.....</b>	<b>23</b>
<b>4. Objectif.....</b>	<b>23</b>
<b>5. Hypothèses.....</b>	<b>23</b>
<b>6. Matériel et méthode.....</b>	<b>24</b>
<b>7. Analyse des résultats.....</b>	<b>26</b>
<b>8. Traitement statistique.....</b>	<b>27</b>
<b>9. Résultats.....</b>	<b>28</b>
9.1 Test T Student.....	28
9.1.1 Natation.....	28
9.1.2 Vélo.....	29
9.1.3 Course à pied.....	30
9.2 Test de Pearson.....	31
<b>10. Discussion.....</b>	<b>32</b>
<b>10.1 Natation.....</b>	<b>32</b>
<b>10.2 Vélo.....</b>	<b>33</b>
<b>10.3 Course à pied.....</b>	<b>35</b>
<b>11. Conclusion.....</b>	<b>37</b>
<b>12. Références :.....</b>	<b>38</b>
<b>13. Sitographie :.....</b>	<b>48</b>
<b>14. Annexes.....</b>	<b>49</b>
<b>Annexe de revue de littérature :.....</b>	<b>64</b>

<b>15. Résumé.....</b>	<b>67</b>
<b>16. Compétences.....</b>	<b>69</b>

## **Glossaire et abréviations :**

CLM : Contre-la-montre

Drafting : abris derrière un coéquipier ou adversaire permettant de profiter des avantages de l'aspiration.

Eq VE/VO<sub>2</sub> : Équivalent du volume expiratoire sur le volume d'oxygène. C'est le nombre de litres de VE nécessaires pour apporter un litre d'O<sub>2</sub> à l'organisme.

FFA : Fédération Française d'Athlétisme

FFTri : Fédération Française de Triathlon

FP : fréquence de pédalage

FTP : Functional Threshold Power, la puissance moyenne réalisée sur un temps donnée (généralement 20 minutes ou une heure).

HT : Home Trainer, vélo d'intérieur permettant la pratique du cyclisme grâce à un matériel de fixation et de rotation du moyeux arrière de la bicyclette.

Rpm : révolution par minute, unité utilisée pour la fréquence de pédalage à vélo.

PPM : Pas par minutes (course à pied)

Pression artérielle : Pression pulsée résultant de la contraction régulière du cœur (environ toutes les secondes) et créant un système de forces qui propulse le sang dans toutes les artères du corps. La pression artérielle est souvent appelée, improprement, « tension artérielle ». (Larousse 2022)

RPE : Rate of Perceived Exertion ; Mesure de la fatigue ressentie.

SmO<sub>2</sub> : Oxygénation musculaire

Sortie à l'Australienne : Principe de couper une natation en eau libre en deux ou plus parties séparées par une sortie de l'eau et une porte de course à pied plus ou moins longue.

VE : Volume Expiratoire

*Volume d'éjection systolique* : Quantité de sang éjectée par un ventricule cardiaque à chaque contraction systolique.

*VMA* : Vitesse maximale aérobie, vitesse la plus basse atteinte à VO2MAX

*VO2* : Volume d'Oxygène

VO2MAX : Volume maximal d'oxygène

### **Language des tests :**

Course à pied :

VMoy : Vitesse Moyenne

FMoy : Fréquence de pas Moyenne

VMoy 0-4 : Vitesse Moyenne entre 0 et 4 minutes

FMoy 0-4 : Fréquence de pas Moyenne entre 0 et 4 minutes

%VMoy PT = Pourcentage de Vitesse Moyenne du Prétest pour les Tests 1 et 2

%FMoy PT = Pourcentage de Fréquence de pas Moyenne du Prétest pour les Tests 1 et 2

Natation :

VMoy400 = Vitesse Moyenne sur 400m en natation

VMoy 0-100 = Vitesse Moyenne de 0 à 100m de course (même chose pour les autres intervalles)

Vélo :

WMoy = Puissance Moyenne

%WMoy PT = Pourcentage de Puissance Moyenne du Prétest (Watts Moyens prétest / Watts Moyen Test 1 ou 2)

WPicMoy = Pic de Puissance Moyen (sur les dix pics de puissance enregistrés, moyenne des dix)

%BESTPic PT = Pourcentage du meilleur pic de puissance du Prétest lors des Test 1 ou 2 (différence de niveau de performance de l'athlète entre les Tests et le Prétest)

$\%WPic$  = Pourcentage du meilleur pic du même Test (niveau de conservation du meilleur pic de l'athlète lors du test, est ce que l'athlète a réalisé une relance puissante puis s'est écroulé, ou est ce qu'il a maintenu un effort intense tout au long de l'épreuve)



## **Introduction**

Le Triathlon est un sport que je pratique depuis maintenant sept ans, il est à la fois horreur, malédiction dans son écrasante poigne de fer qui concasse le corps et l'esprit durant une course entière. Il est aussi salutaire, lavant les muscles et l'âme de tous les efforts fournis pour arriver à combattre la nature qui a tenté de vous amener au plus bas. Entraîner des personnes à réaliser ce type d'effort est mon métier aujourd'hui et il est de mon devoir de fournir aux athlètes les meilleures stratégies et les conseils possibles afin qu'ils réalisent leur meilleure performance.

Dans ce contexte, de nombreuses questions ont déjà trouvé réponse dans les années 1990 et 2000, dans la période de grand essor de la discipline. Des chercheurs tels que Grégoire Millet, Jean-Claude Chatard ou encore Didier Chollet ont mené la recherche en France afin de décortiquer les tenants et aboutissants. C'est dans l'humble continuité de leurs travaux et de beaucoup d'autres que je désire aujourd'hui apporter des informations concernant les effets d'un triple effort sur le corps d'un athlète.

Afin d'organiser ce manuscrit de recherche, nous commencerons par présenter une revue de littérature du monde du triathlon ainsi que des paramètres qui influent sur la performance dans ce sport, en rapport avec notre projet. Par la suite nous définiront notre problématique, nos objectifs et nos hypothèses sur le sujet qui nous intéresse. Nous décortiquerons la méthode et les moyens matériels et statistiques utilisés pour la recherche et exposerons les résultats rencontrés. Nous terminerons cette étude par une discussion et une conclusion afin de parachever notre document.

## **1. Revue de littérature**

### **1.1 Historique et épreuves**

Le triathlon est une pratique sportive d'endurance dont le but est de réaliser une épreuve de natation, une transition natation-vélo, une épreuve de vélo, une transition vélo - course et une course à pied d'une certaine distance, par ses propres moyens du début à la fin.

Le triathlon est un sport relativement jeune dont la première compétition a eu lieu en 1978 à Honolulu, Hawaii (E-U). Le premier format à voir le jour fut le format connu aujourd'hui sous le nom d'Iron Man, avec des distances de 3,8km de natation, 180km de vélo et 42,2km de

course à pied. Il reste aujourd'hui la distance "reine" de la discipline mais beaucoup de nouvelles épreuves ont vu le jour suite au développement de ce sport afin de le démocratiser et le rendre accessible au plus grand nombre. Dans un premier temps, des triathlons plus courts pour adulte ont vu le jour (Half IronMan, Distance Olympique, Triathlon S...), avec des noms qui ont varié au cours du temps. Par la suite, l'avènement de courses jeunes a permis un essor plus global du triathlon en France notamment.

Dans l'avènement des nouvelles épreuves, il est important de différencier les épreuves émanant des organisateurs privés (type Ironman) et celles venant des fédérations nationales. "IronMan" est une société privée qui a pris à son compte l'organisation des championnats du monde Longue distance depuis son début. Les fédérations internationales se sont focalisées sur la courte distance, ne pouvant rivaliser devant l'engouement des athlètes pour la distance mythique.

Les différentes distances jeunes et adultes pour le triathlon d'après la Fédération Française de Triathlon (FFTri) sont répertoriées en annexe (*Tableaux n° 15, 16, 17 en annexe*)

Depuis 40 ans, les distances et les offres de pratique ont fleuri dans le domaine du triathlon. Cela permet à des personnes de tout âge et tout niveau de pratiquer. Les entraînements pour un triathlon de courte et longue distance se distinguent de par les intensités et les ressources énergétiques utilisées. Les entraînements varient donc en ce qui concerne la longueur et les vitesses recherchées (Emmanuel Pignat, 2010). Les catégories d'âge des jeunes triathlètes sont, comme pour beaucoup de fédérations, séparées de manière biannuelle. Concernant les adultes, elles sont séparées en Séniors et Vétéran, sauf sur les triathlons où des classements "groupe d'âge" sont mis en place.

Les classements groupe d'âge séparent les adultes par tranche de cinq années, sauf pour la première catégorie (18-24 ans, 25-29 ans...). Sur les compétitions de Haut Niveau, un classement "Elite" sépare les athlètes professionnels des amateurs. L'ensemble des catégories sont décrites dans les tableaux en annexe (*Tableaux n°15, 16 et 17*)

Le Triathlon outdoor a pour particularité de proposer des parcours aux environnements variés, même pour des courses à la distance similaire.

Le parcours d'une natation en eau vive peut varier en nombre de virages, type d'eau (lac, mer, étang...), environnement de départ (plage, ponton, départ dans l'eau), type de départ (groupé, rolling start...) et peut même être entrecoupé en plusieurs tours, sectionné par une "sortie à l'Australienne". Les départs groupés peuvent réunir jusqu'à 400 athlètes en même

temps et rendent l'activité particulière par rapport à une natation en bassin classique. La température de l'eau doit être supérieure à 12°C afin d'être praticable en France. La combinaison de natation est autorisée lorsque la température se situe entre 12 et 24,5°C et est interdite au-delà. Ces combinaisons souvent en matière néoprène peuvent mesurer jusqu'à 5 mm d'épaisseur et couvrir l'ensemble du corps des chevilles, au cou et aux poignets.

La transition peut se dérouler sur du bitume, du sable, de l'herbe et peut être recouverte d'un tapis pour préserver l'intégrité des coureurs... Sa distance peut varier en fonction des organisations.

La partie cycliste peut se réaliser sur un format contre-la-montre (CLM) ou "critérium" en fonction de l'organisation. La distance n'est pas nécessairement exactement celle préconisée par la fédération et le parcours peut être plus ou moins montagneux ce qui peut faire varier les tactiques, le temps de pratique et le matériel utilisé.

Lors de partie cyclisme type critérium (généralement sur triathlon courte distance compétitif), les athlètes sont autorisés à utiliser l'abri et l'aspiration des concurrents ou partenaires mais les vélos ne peuvent pas comporter de prolongateurs plus longs que leur guidon. A l'inverse lors de partie cycliste au format CLM, les athlètes peuvent utiliser un vélo de leur choix, respectant les règles de sécurité instaurées par l'organisation. L'effort est alors entièrement solitaire et des règles d'espacement sont mises en place afin de le garantir.

La seconde transition suit les mêmes règles que la première sauf en ce qui concerne le sable.

La partie course à pied varie en fonction des distances, généralement similaires aux distances officielles des épreuves sur route de la Fédération Française d'Athlétisme (FFA). A l'instar de la partie cyclisme, le parcours n'est pas toujours composé du même revêtement ou du même dénivelé. Il peut se réaliser en un seul tour de la distance ou plusieurs comme pour le vélo.

Par la suite, dans cette revue de littérature, nous exposerons les différents paramètres physiques et physiologiques du triathlon. Nous aborderons les aspects matériels comme la combinaison de natation. Nous présenterons les particularités physiologiques de l'enchaînement des disciplines natation - cyclisme et cyclisme - course à pied.

## **2. Aspects physiologiques du Triathlon**

### **2.1 Natation**

#### **2.1.1 Les effets du port de la combinaison sur la performance dans la natation en eau libre**

Le port de la combinaison de natation est très fréquent en triathlon. Le but d'une combinaison est multiple, mais son premier intérêt est avant tout d'améliorer la flottabilité (Chatard et al, 1995), la glisse, et la propulsion grâce à des matériaux adaptés placés sur l'équipement de manière harmonieuse . Dans un second temps, le port de cet équipement a pour but d'améliorer le confort lié à la fraîcheur d'une eau vive qui peut rendre les mouvements, voire la respiration difficile. Son utilisation est bien évidemment réglementée de différentes manières par les fédérations internationales et nationales. Comme expliqué précédemment, la température de l'eau doit être sous 24,5°C pour des amateurs, et sous 20°C dans les compétitions internationales pour que les triathlètes soient autorisés à la porter. En dessous de 16°C, celle-ci est obligatoire dans les compétitions officielles. En effet, la température corporelle a tendance à augmenter lorsque l'on nage équipé d'une combinaison (Wolff et al, 1985), risquant d'une part de limiter la performance mais surtout de causer des hyperthermies ou des déshydratations chez les concurrents. Gaye et al (2022) et Trappe (1995) n'ont trouvé aucun effet négatif du port de la combinaison dans une eau entre 17 et 29,5°C. Le port de la combinaison serait donc surtout bénéfique pour les athlètes de longue distance, dans des eaux plutôt froides.

D'après Costill et al (1985), la performance en natation en eau libre sur des distances longues est due à deux paramètres : la capacité aérobie et l'efficacité gestuelle. D'autres paramètres ont montré une forte corrélation avec la performance en natation comme la qualité de flottaison et l'adaptation du corps à la poussée d'Archimède (dû à la pression hydrostatique). Ces deux qualités sont connues pour affecter positivement la performance en natation (Chatard et al, 1990 ; Toussaint et al, 1994). Ces deux dernières sont les raisons pour lesquelles les combinaisons améliorent la performance en natation, car elles rendent meilleur la flottaison et la remontée hydrostatique (Chatard et al, 1995). Le gain du port d'une combinaison sur une natation de 400m par des nageurs entraînés semble moins important que chez des triathlètes

entraînés et chez des nageurs moins entraînés (Chatard et al, 1995 et 1996). Cela tiendrait du fait que plus le corps est entraîné, plus l'apport de la combinaison est négligeable car le but de la combinaison est de modifier la composition corporelle du nageur afin de la rendre moins dense et plus hydrodynamique (Cordain et Kopriva, 1991). Or les nageurs de haut niveau ont déjà un corps qui s'approche d'une flottaison et d'une pénétration dans le milieu aqueux optimal. Il est normal que les combinaisons apportent plus de gain aux nageurs moins expérimentés.

D'après science swimming (Consulté le 09/01), "la traînée est la résistance que l'eau exerce sur le corps lors du déplacement. Il existe deux phases de traînée, appelées traînée passive et traînée active. La traînée passive est la résistance que le nageur rencontre en nageant vers l'avant. La traînée active est la résistance exercée par le nageur."

Il existe trois principaux types de résistance à l'eau qui affectent les nageurs :

- Résistance de forme : la résistance à l'eau dépend de la longueur, largeur et des différentes irrégularités offertes par le corps à l'eau.
- Résistance aux vagues : la résistance causée par la turbulence à la surface de l'eau
- Résistance au frottement : la résistance causée par le contact de la peau et des cheveux dans l'eau

La traînée passive est plus faible en fonction de la qualité de la forme que prend le nageur pour pénétrer dans l'eau. Cette traînée passive semble diminuer lorsque le nageur porte une combinaison (Chatard et al 1995). La traînée active semble également diminuer avec le port de la combinaison (Toussaint et al, 1994).

La combinaison apporterait donc un avantage quant à la glisse sur l'eau, la flottaison et également la réduction de la qualité de l'aspiration des nageurs qui suivent.

Les études suivies ici ne parlent néanmoins pas de la qualité des différentes combinaisons. En effet, les combinaisons de natation sont aujourd'hui un outil très développé avec un marketing poussé par les marques. Les tarifs de ces équipements s'étalent du simple au décuple et la qualité peut potentiellement en être de même. Les combinaisons varient en fonction de la qualité de leur élasticité (le traitement du néoprène) qui permet une efficacité de mouvement et un meilleur confort. Elles se différencient également technologiquement par la présence de matériaux plus glissants sur les surfaces qui le nécessitent, réduisant les résistances de frottement et moins glissant sur les surfaces propulsives afin de maximiser la prise d'eau. En

résumé, les triathlètes utilisant une combinaison semblent gagner en flottaison, réduire le coût énergétique de leur nage, améliorer l'élévation hydrolastique, diminuer les résistances de l'eau (Chatard et al, 1995 et 1994 ; Toussaint et al, 1994 ; Cordain et Kopriva, 1991). Il a été montré que le niveau des athlètes pouvait faire varier l'effet de la combinaison.

En conséquence, dans notre cas, il semblerait peu intéressant de recourir au port de la combinaison malgré son omniprésence dans le monde du triathlon en compétition afin de limiter la portée du biais de différence d'efficacité d'équipement sur la performance.

### **2.1.2 Efficacité technique et coordination en natation**

Comme vu lors de la partie précédente sur les combinaisons, les nageurs de bassin et les triathlètes diffèrent non seulement par leur niveau, mais également par d'autres paramètres. En effet du point de vue de l'efficacité (capacité à produire un effet avec le minimum de moyen possible, ici : capacité de produire de la vitesse avec le moins d'énergie possible), les nageurs auraient un coût énergétique 21 à 29% plus faible que les triathlètes, et un rendement propulsif (effet de l'action de propulsion) jusqu'à 36,4% plus élevé (Toussaint HM, 1990).

La fréquence de mouvement de bras est similaire entre les triathlètes et les nageurs mais l'amplitude de chaque coup de bras est plus importante chez les nageurs. Cela pourrait être dû au fait que les nageurs sont en moyenne plus grands que les triathlètes (Landers et al, 2000), et subissent par conséquent moins de résistance de forme que ces derniers. Mais d'après Millet et al (2002), la différence d'amplitude de mouvement serait dû à une meilleure phase de prise d'eau de la part des nageurs (relative à la taille). Le mouvement de propulsion en natation débute en effet par une phase de "traction" dont le but est dans un premier temps la "prise" d'eau (le "catch" en anglais) afin de pouvoir la tirer sous le corps puis la renvoyer dans la phase de "poussée" (pull and push en anglais). Toujours d'après les travaux de Millet et al (2002), l'amplitude de mouvement serait mieux corrélée à la performance et au rendement propulseur (Craig ABJ et al, 1979 ; Toussaint et al, 1992) que la taille du nageur.

On peut donc considérer l'amplitude du mouvement comme un facteur déterminant de la performance en natation et d'une amélioration technique du nageur. Plus le nageur est rapide et plus sa vitesse augmente, plus la durée des phases propulsives augmente comparativement aux phases aériennes. Cela implique la progressive évolution d'une technique en "rattrapé" (la phase

de propulsion du bras x démarre lorsque la phase aérienne du bras y se termine) vers une technique en opposition (les bras suivent un cycle opposé, le bras x propulse lorsque le bras y est en phase aérienne), jusqu'à une technique en superposition (le bras y commence la traction alors que le bras x n'a pas terminé sa poussée). La phase aérienne est donc raccourcie au maximum afin de garantir qu'un maximum du temps le nageur soit en prise avec l'eau afin d'exercer sa pression et vaincre les résistances de manière plus continue (maintenir sa vitesse au maximum plutôt que de ré-accélérer à chaque nouveau mouvement).

L'efficacité de l'utilisation des jambes fait débat chez les nageurs dans la pratique du crawl. En effet, il est considéré que les jambes sont plus équilibratrices que propulsives dans la nage du crawl. Ricardo Peterson Silveira et al (2017) décrit l'intérêt de l'utilisation des jambes comparé aux bras comme un paramètre individuel à chacun lors du calcul de l'efficacité des coups de bras à des vitesses variées. L'effet positif majeur de l'apport des jambes est dû à l'amélioration de l'inclinaison (13%) et donc la réduction des forces de résistances qu'à la propulsion pure. La production de force et l'efficacité des coups de bras du nageur ne semblent pas affectés par l'utilisation des jambes (Vassilios Gourgoulis et al, 2014).

Néanmoins d'après Adrian MJ et al (1966) le coût énergétique du mouvement des bras était moindre que celui des jambes et des bras à une vitesse de 1.02 m.s<sup>-1</sup>. D'après Holmér I (1974) la fréquence cardiaque, VO<sub>2</sub> et niveau de lactate sanguin les plus élevés étaient mesurés lors d'une natation en crawl avec les jambes et les bras. La fréquence cardiaque et l'équivalent respiratoire (EqVe/VO<sub>2</sub>) sont plus élevés pour une nage complète (bras et jambes) qu'une nage uniquement brachiale lors d'un effort à une même fraction de VO<sub>2</sub>.

Il serait donc intéressant de déterminer quelle type de nage serait plus efficace énergétiquement, musculairement et du point de vue de la performance en sachant que chez les triathlètes, la natation n'est que le premier des trois travaux qui l'attendent.

### **2.1.3 L'aspiration, ou "drafting" pendant la natation en triathlon**

Le principe d'aspiration ou drafting en natation vient du fait qu'en triathlon et natation en eau libre, le départ se réalise groupé. Or, comme vu précédemment, le nageur laisse derrière lui une fraction de sa traînée active qui peut être ensuite utilisée par les autres nageurs tel un courant favorable afin de limiter sa propre traînée passive et donc l'effort produit à une même

vitesse. Cette réduction de la traînée passive pour le nageur derrière peut aller jusqu'à 26% (Chatard et al, 2000 ; Millet et al, 2000). Cette diminution de la traînée induit ensuite une diminution de plusieurs paramètres physiologiques et perceptifs de la performance. La concentration en lactate, la VO<sub>2</sub>, le RPE (rating of perceived exertion, évaluation de la perception de l'effort) diminuent (Bassett DR et al, 1991). La performance en elle-même est améliorée de 3,2 à 6% d'après Chatard et al (1998). Cela peut impliquer sur une distance de 1500m une amélioration de 15 à 30 secondes. Sur une distance IronMan où la durée de la natation va jusqu'à 50 minutes pour un triathlète de bon niveau, entre 1 minute 35 et 3 minutes peuvent être gagnées. Cette amélioration serait apparemment encore plus importante chez les nageurs plus fins (Chatard et al, 2000). Il semblerait néanmoins que plus la vitesse serait faible, plus la portée de ces gains serait réduite. Donc, sur des distances plus longues où la vitesse est plus faible, le gain serait moindre. Néanmoins un gain ne serait-ce que de 1% sur un exercice de presque une heure n'est pas négligeable pour un athlète.

Sur les triathlons courte distance, il n'est pas à négliger que la vitesse des nageurs n'est pas régulière. Les 400 mètres de départ sont plus rapides que la moyenne du reste de l'épreuve, par conséquent, la vitesse étant plus élevée, la nécessité d'utiliser le drafting en début de course est importante. L'utilisation des jambes chez les athlètes de haut niveau semble plus importante durant cette phase que le reste de la course. Il n'y a néanmoins pas d'augmentation significative de la traînée active chez les athlètes qui utilisent plus les jambes (comparaison entre un battement en 2 temps et en 6 temps) d'après Millet et al (2000). A l'inverse, la distance entre le nageur avant et arrière a une importance quant à l'efficacité du drafting. Plus la main du nageur qui draft est proche de celle du nageur devant lui, plus la traînée passive est importante (Millet et al, 2000). Il y a donc besoin de trouver un bon compromis concernant la distance avec le nageur devant soi afin d'optimiser l'efficacité du drafting.

#### **2.1.4 Les effets de la partie natation sur la performance lors de l'enchaînement à vélo en triathlon**

Comme nous l'avons montré dans les parties précédentes, la natation est un sport porté dont le mouvement est principalement amené par l'utilisation des muscles du haut du corps. Par



conséquent, le sang a tendance à principalement être acheminé vers ces mêmes muscles lors de l'effort, surtout lorsque celui-ci s'allonge (Finlay JB et al, 1995).

La partie natation a également été indiquée comme la cause d'une plus haute concentration en lactate sanguin lors des parties cyclisme et course à pied suivantes (Farber HW et al, 1991). Cela serait potentiellement la preuve d'un stress musculaire plus important.

La combinaison de ce paramètre couplé à l'apport sanguin important dans les membres supérieurs pourrait mener à une baisse de la performance durant la partie cycliste.

Plusieurs recherches ont étudié l'enchaînement natation - vélo :

Delextrat A et al (2003) a montré, qu'en triathlon sprint (750m de natation, 20km de cyclisme) la natation avec combinaison se traduit par des valeurs inférieures de fréquence de pédalage (-14%), fréquence cardiaque (-11%), et lactatémie (-47%). Le rendement mécanique en cyclisme est significativement supérieur après une natation avec combinaison comparativement à une sans combinaison (différence de 12,1%). La diminution de l'intensité de la natation avec combinaison suggère l'importance des conditions de la partie natation (drafting, solo, combinaison...).

Bentley et al (2006) constate que la puissance pendant un CLM à vélo de 20 minutes était significativement plus faible après 400 m nage libre effectué à un effort maximal par rapport à 400m à 90% de cette vitesse ou en situation de drafting. Il est important de noter qu'il n'y avait pas de différence significative dans la puissance lors de la performance cycliste après la natation à 90% ou en position de drafting. Les résultats de cette étude démontrent également qu'une natation à fond avant le vélo peut avoir une incidence sur la relation positive entre la puissance maximale et la puissance moyenne générée au cours d'un CLM à vélo.

Ce résultat peut varier en fonction de la distance de l'enchaînement réalisé, ces deux études étant basées sur des distances plutôt courtes. Laursen et al (2000) montre qu'un effort de 3000m de natation à intensité modérée n'avait aucun effet sur un CLM de 3h de vélo par rapport à un CLM de 3h sans natation chez des athlètes très entraînés. Il n'a néanmoins pas montré les effets d'une natation à allure de course (son étude est réalisée à 1'48.100m-1 de moyenne alors qu'en course les meilleurs athlètes nagent à 1'15.100m-1). De plus, la puissance demandée sur une portion vélo de longue distance CLM est plus faible que sur un vélo type critérium, surtout dans les premiers kilomètres.

Peeling PD et al (2005) montre qu'une natation réalisée entre 95 et 100% de meilleur performance sèche sur la distance (Record personnel) a un effet plus négatif sur la performance générale du triathlon que pour une natation réalisée à 80 ou 90% du maximum. La natation trop rapide aurait donc un effet sur la puissance moyenne et la puissance maximale développée lors du vélo enchaîné. La perte de temps totale sur le triathlon entre une natation à fond et une natation à 90 ou 80% est de 7 à 11% environ sur un triathlon sprint.

Dans l'ensemble, il paraît important pour un triathlète de limiter les impacts négatifs de la nage en eau libre sur la suite de son triathlon, notamment sur du triathlon de courte distance avec drafting.

Il ne faut pas oublier qu'une natation sur un Triathlon XXL dure environ 50 à 1h10 (*Tableau n°18*) pour des athlètes de bon niveau. Même si l'intensité est faible, cela ne reste pas anodin en termes de fatigue musculaire dans le haut du corps. Le cyclisme demande tout de même une position particulière où le haut du corps est engagé de manière isométrique. La course à pied utilise le balancier des bras pour alléger le corps et rythmer la foulée.

Il serait donc intéressant de se demander quelle stratégie adopter lors de la natation pour optimiser le temps total d'un triathlon, pour améliorer les premiers efforts à vélo, ou pour limiter la facilité du drafting des adversaires.

## **2.2 Cyclisme**

### **2.2.1 L'abri pendant la partie vélo du Triathlon**

Sur la partie cycliste, la plus longue lors d'un triathlon (elle dure entre 45 et 55% du temps total chez les professionnels en fonction de la distance et des qualités de l'athlète). La dépense énergétique et le déplacement sont liés aux différentes forces qui entravent le cycliste comme la gravité, la résistance au vent, les résistances de roulement ou encore les frottements mécaniques ( Di Prampero P E, 1979). De la même manière qu'en natation, la projection de la forme frontale du cycliste influencera sur sa résistance au vent et sa masse (la sienne plus celle du vélo et du matériel) modulera les résistances gravitationnelles en relation avec le type de parcours utilisé (plat, monté, descente...). La résistance au vent étant une des plus importantes pour le cycliste, il est donc normal que le drafting permette une réduction significative de

l'impact de cette résistance et donc du coût énergétique du pédalage (Swain D P, 1994). De la même manière, les caractéristiques physiques de l'athlète (taille, largeur d'épaule...) ainsi que les paramètres aérodynamiques du vélo utilisé vont influencer cette résistance. Cette dernière est d'autant plus importante dans des conditions de CLM comme sur les longues distances, d'où l'avènement rapide dans la pratique de l'utilisation des vélos de CLM, plus longs et avec une position fixe plus encline à l'aérodynamisme. A contrario, ces vélos beaucoup plus raides ne permettent pas une conduite sécuritaire en peloton avec un vélo type critérium et sont d'ailleurs formellement interdits.

Effectivement, Hausswirth et al (1999 et 2001) explique que dans une condition de drafting sur 20km, la VO<sub>2</sub>, VE, la fréquence cardiaque et le taux de lactate sanguin sont plus faibles que dans des conditions non abritées à la même vitesse. D'autant plus que suite à une partie cyclisme en drafting, il relève également que la VO<sub>2</sub> durant la partie course à pied suivante était également plus faible que pour un vélo sans abris.

Il a par la suite rapporté (2001) que le coût métabolique d'une alternance entre drafting et prise au vent dans un peloton par exemple était beaucoup plus important que celui d'une personne restant en condition de drafting sur l'ensemble de la distance.

Ces études prouvent également que le coût métabolique de la partie cycliste a un impact direct sur la vitesse et la VO<sub>2</sub> de la course à pied qui suit.

Le but de cette partie vélo est évidemment de parcourir la distance le plus rapidement possible mais également de préserver au maximum les qualités pédestres afin de pouvoir terminer le triathlon dans le temps le plus faible possible. Sauver de l'énergie de par le drafting ou une position aérodynamique permet d'une part de parcourir la distance plus rapidement mais en plus de potentiellement conserver un capital musculaire conséquent pour courir par la suite.

La qualité du drafting est également dépendante de la masse du peloton. En effet, la réduction des résistances au vent est plus forte à mesure que la taille du peloton augmente (McCole S D, 1990).

Les bénéfices évidents de la diminution de la dépense énergétique à une certaine vitesse dans un triathlon avec drafting sont la capacité de rouler à une vitesse plus élevée en gardant le même niveau de dépense énergétique, mais également la possibilité de garder dans un peloton les cyclistes plus faibles qui pourront donc réaliser une meilleure position que s'ils avaient été seuls (Bentley et al, 2002).

## **2.2.2 Les demandes physiologiques d'une course en format Contre-La-Montre et en format critérium**

Concernant une course cycliste de type contre-la-montre, Padilla et al (2000) nous montre que l'intensité de l'exercice est plutôt constante. Elles sont généralement réalisées sur des parcours majoritairement plats et étant de format CLM, dans une condition de non drafting. La partie cycliste d'un triathlon longue distance s'organise globalement de la même manière. Il existe néanmoins certains triathlon très spécifiques comme l'Embrunman ou la quasi totalité du parcours se situe au cœur de la montagne et propose des phases répétées de montées de grands cols et de descentes pentues et techniques. Dans ces cas précis, l'effort est bien plus inégal puisqu'il demande une grande implication musculaire et énergétique en montée, suivi d'une grande implication mentale et technique en descente.

Dans les conditions des Championnats du Monde de triathlon, le drafting est autorisé sur le parcours cycliste. Afin d'assurer un meilleur spectacle pour le public, les organisateurs peuvent potentiellement organiser la course sur plusieurs tours pour permettre aux spectateurs de profiter de la course. Il leur arrive d'ajouter une ou deux côtes à franchir afin de rendre le parcours plus exigeant et permettre de casser les potentiels packs formés après la natation. En effet lors d'une montée, la vitesse étant plus lente, la résistance au vent n'est plus la résistance principale que doit vaincre le cycliste, il s'agit de la gravité.

Ce type de parcours et de condition se rapproche par conséquent beaucoup plus d'un parcours cycliste de type critérium, à l'inverse du triathlon longue distance. Dans ces courses, les accélérations violentes (donnant lieu à un pic de puissance développé très élevé) se succèdent lors de relances, de virages, ou lors de tentatives de s'extraire du groupe, afin de briser au maximum l'effet d'aspiration donné aux athlètes de l'arrière et user au maximum les organismes. Ces accélérations sont entrecoupées de portions plus calmes où les athlètes sont plutôt sur des niveaux de puissance sous maximaux et moins fatigants. Liedl et al (1999) a découvert que sur un effort maximal linéaire de 60 minutes, comparé à un effort avec une alternance d'effort à 105% et à 95%, il n'y avait pas de différence physiologique significative. Néanmoins, il est probable qu'un test incorporant des efforts plus violents (avec des sprints entrecoupés de périodes moins intenses) on découvre une fatigue et une diminution de la performance plus

notable. Palmer et al (1997) a étudié les effets d'un effort stochastique de 2h30 à vélo suivi d'un contre la montre de 20km et démontré la baisse de la performance induite par l'effort stochastique précédent.

Par la suite, Palmer et al (1999) démontre que la déplétion en glycogène intramusculaire dans les fibres rapides (Type II) ainsi que l'oxydation totale du glucose est plus importante après un effort à intensité variable plutôt qu'un effort linéaire. Mais il n'a pas trouvé de différence dans la production de puissance sur un 20 km CLM après cet effort.

Les effets d'une stimulation variable à vélo sur un enchaînement en course à pied ont été retranscrits, notamment par Bentley et al (2002). Dans son étude, il montre qu'une variation de la puissance développée de 20 à 40% au delà de la puissance moyenne lors d'un exercice CLM de 60 minutes n'avait pas d'effet supplémentaire sur un 10 km de course à pied par rapport à un exercice CLM linéaire. Néanmoins, les participants étaient plutôt peu entraînés (Moyenne  $VO_{2max} = 53 \pm 6$  mL/kg/min). Il est probable qu'un protocole contenant plus d'efforts à plus haute intensité, reflétant mieux un logique de course cycliste type critérium. D'après Smith D et al (1999), la puissance moyenne d'une partie cycliste en critérium de 40 km (Triathlon Olympique de Sydney 2000) chez les hommes est de  $238 \pm 167$  W, tandis que la puissance maximale atteinte est de 950 W soit plus de 230% de la puissance moyenne du quartile supérieur. Avec une augmentation de 20 à 40%, nous sommes donc bien loin de ces niveaux de puissance dans l'étude de Ramsay. Dans cette même étude, il montre que la fatigue induite par un vélo à intensité comparable à celle de la course peut contribuer à une diminution de la performance durant un effort sous maximal à pied.

L'influence de la morphologie de l'athlète joue un rôle important dans la performance (Swain D P, 1994 ; Bergh U, 1991), notamment le poids et la taille de celui-ci. Il a été démontré que les cyclistes plus lourds étaient plus performants sur les courses solitaires type CLM relativement plates où la force gravitationnelle n'est pas la principale résistance. Les athlètes plus petits étaient meilleurs sur les courses type critérium et sur les courses en montagne. Cela rejoint d'ailleurs le précédent propos sur le drafting relatant que la taille du cycliste avait un impact sur sa prise au vent au sein d'un peloton.

Etant donné cette information, il est possible que les triathlètes de plus petits formats soient plus performants sur les courses incluant du drafting que sur les courses de longue

distance en format CLM (Schabert E J, 2000). Cela peut avoir un impact sur la sélection des jeunes triathlètes lorsque, par exemple, leurs VO2Max sont similaires.

Globalement, nous pouvons donc noter que le format de la course influence fortement le type d'effort (plutôt linéaire ou stochastique) et la fatigue induite par cet effort sur l'enchaînement à pied. Nous avons également remarqué que la natation avait un impact sur la performance à vélo. Il serait donc intéressant d'étudier ces phénomènes en profondeur.

## **2.3 Course à pied**

### **2.3.1 Les effets de la partie cycliste sur la performance en course à pied**

De manière empirique, l'entraînement en triathlon n'est pas une science exacte, et beaucoup d'entraîneurs établissent des considérations quant à l'utilité de réaliser des enchaînements vélo - course à pied fréquents, tandis que d'autres considèrent cela comme une fatigue inutile n'entraînant pas d'amélioration musculaire ou physiologique notable.

Nous avons déjà remarqué que la partie cycliste était influencée par la performance en natation. L'effet de la partie cycliste sur la course à pied semble encore plus important que celui de la natation sur le vélo.

Kreider et al (1988) est un des premiers à l'étudier dans un contexte d'enchaînement complet chez des triathlètes, avec un précédent test à vélo et à pied isolé. Il montra que la VO2 était plus élevée lors d'une course à pied après une partie cycliste intense par rapport à une course sèche. La fréquence cardiaque a également été plus élevée, la pression artérielle plus faible ainsi que le volume d'éjection systolique. Il est possible que cela résulte par une baisse du volume sanguin total à cause de la déshydratation au cours de l'effort.

Concernant l'enchaînement cyclisme - course à pied, Guillermo et al (2019) parle de ces effets comparativement à une course à pied sèche. Il montre que lors d'un enchaînement, la vitesse a tendance à diminuer, la longueur des foulées a tendance à diminuer, l'oxygénation musculaire ( $SmO_2$ ) a tendance à augmenter. Il n'a pas trouvé d'effet significatif sur l'oscillation verticale. Néanmoins, cette recherche a été menée sur des athlètes de bon niveau (16 +/-6.8 heures d'entraînement hebdomadaire), pas sur des athlètes élites. Il est possible que des athlètes élites soient capables de mieux conserver la longueur de leurs foulées.

Millet et al (2000), Hue et al (1998) et Boone et al (1986) ont étudié les effets d'un enchaînement vélo course à pied, mais leurs études diffèrent beaucoup dans le protocole utilisé. Certains se basent sur une allure fixe en course à pied, d'autres sur une allure libre, d'autres encore sur un temps ou une distance à terminer en course à pied. Tous s'accordent à dire que la partie cycliste a tendance à diminuer la performance en course à pied. Romijn et al (1993) montre une diminution de quotient respiratoire lors de l'effort enchaîné qui n'est pas dû à une augmentation du coût énergétique de l'exercice. Brisswalter et al (2000) montre que le changement d'efficience avec la fatigue résultait de la précédente activité cycliste.

Il est donc possible que la fatigue et les changements métaboliques observés lors de l'enchaînement proviennent du changement de style de foulée de l'athlète (Quigley et Richards, 1996). Contrairement à Guillermo et al (2019), Hue et al (1998) n'ont trouvé aucune différence dans la longueur des foulées sur un enchaînement de 30 minutes à vélo puis 30 minutes à pied.

Millet et al (2001) n'a trouvé aucune augmentation du coût énergétique de la course à pied chez le triathlète de haut niveau. Cela pourrait être causé par une meilleure gestion de la foulée malgré la raideur musculaire.

Nous pouvons éventuellement affirmer que l'enchaînement vélo - course à pied n'affecte pas les facteurs biomécaniques de la course à pied. Cependant, il est probable que cet effet ou absence d'effet soit dû à la régulation de la raideur musculaire, ce qui expliquerait les changements métaboliques observés dans certaines études. Il est difficile de tirer des conclusions quant à l'adaptation technique des athlètes à la fatigue car les différentes études ont été menées avec des protocoles différents et cela pourrait influencer les résultats.

Nous aurons donc intérêt à prendre en compte la reproductibilité de notre protocole afin de permettre aux athlètes de nous fournir des données fiables quant à la fatigue engendrée par l'enchaînement avec les moyens de mesure tel que le GPS et le cardio fréquencemètre (FC, taille de la foulée, oscillation verticale, vitesse...).

Cette revue de littérature a pu mettre en lumière les différents aspects de la performance en triathlon, séparément pour chaque discipline et également de manière imbriquée dans les enchaînements qui font la particularité du Triathlon.

Nous avons pu relever des paramètres qui méritent d'être étudiés notamment en ce qui concerne l'influence de l'utilisation des jambes en natation sur la suite de l'épreuve.

Nous organiserons notre étude en tenant particulièrement compte des conditions de reproductibilité, des intensités demandées, des règles établies sur les parties natation, vélo (conditions type drafting ou non drafting) et course à pied.

### **3. Problématique**

Dans cette étude, nous désirons chercher les différences entre l'utilisation ou non des jambes en natation et la performance d'un triathlète dans la suite de sa compétition de triathlon.

Il n'est pas à négliger que l'utilisation des jambes chez les nageurs et les triathlètes est liée à une perception individuelle et à l'apprentissage personnel de la natation. Tous les nageurs n'ont pas la même fréquence de jambe naturellement. Il sera important de prendre ce paramètre en compte dans la discussion et l'analyse des résultats.

Notre problématique s'intitule donc de la manière suivante :

**Quel impact l'utilisation des jambes en natation a-t-elle sur la performance d'un enchaînement le plus rapide possible en cyclisme et course à pied ?**

### **4. Objectif**

Les objectifs de cette étude sont de :

- Déterminer si l'utilisation des jambes en natation a un impact sur la puissance moyenne et maximale, la FP, la fréquence cardiaque développée lors de l'enchaînement à vélo.
- Trouver si la fréquence de foulée, la taille des foulées, la vitesse, la fréquence cardiaque varient sur l'enchaînement suivant en course à pied.
- Découvrir si l'utilisation des jambes fait varier la performance chronométrique globale d'un triathlon



## 5. Hypothèses

**H0** : Il n'y a pas de variation de la puissance à vélo significative en fonction de l'utilisation des jambes en natation.

**H0'** : Il n'y a pas de variation de la vitesse, taille et fréquence des foulées en course à pied en fonction de l'utilisation des jambes en natation.

**H1** : Il y a une variation de la puissance à vélo significative en fonction de l'utilisation des jambes en natation.

**H2** : Il y a une variation de la vitesse, taille et fréquence des foulées en course à pied en fonction de l'utilisation des jambes en natation.

Nous nous attendons à ce qu'une variation de l'ensemble des facteurs cités ait lieu entre l'utilisation minimale des jambes, et l'utilisation plus importante.

Les temps de natation pourraient être plus élevés lorsque les nageurs utilisent les jambes de manière plus importante. La fréquence cardiaque lors de la natation sera probablement impactée par l'utilisation des jambes.

Il se pourrait par la suite que le début du vélo soit impacté par l'utilisation des jambes en natation, positivement ou négativement.

## 6. Matériel et méthode

10 adultes de même sexe du club de Lomme Natation Triathlon ont répondu positivement à l'appel afin de réaliser mon protocole de test.

Malheureusement, à cause d'une blessure et de deux indisponibilités de dernière minute, seuls 7 d'entre eux ont pu réaliser l'ensemble du protocole depuis le premier Pré-Test au dernier Test. Leurs caractéristiques anthropométriques sont indiquées dans le tableau en annexe (*Tableau n°13 et 14*). Nous sommes donc en présence de 7 athlètes, d'en moyenne 173,3cm +/- 10,7, 68,8kg +/- 18,9, 27,1 ans +/-16,2, s'entraînant 10,6 heures +/-3,3 par semaine. Les athlètes sélectionnés possèdent une FC<sub>MAX</sub> de 196,5 bpm +/-14,4, FC de repos de 55,6 bpm +/-7,7, ayant un temps au 400m estimé à 7min06 +/-38 secondes, un record de puissance sur 20 minutes à vélo (Fonctional Threshold Power = FTP) estimé à 3,0 W.kg<sup>-1</sup> +/-0,9, et une Vitesse Maximale Aérobie (VMA) en course à pied estimée à 17,1km/h +/-1,9.

Le groupe final peut être qualifié comme ayant une distribution normale sur l'ensemble de ces paramètres sauf sur celui de la FTP 20' puisque  $p < 0,05$ .

Un test de type triathlon indoor XS (400 NAT / 10 BIKE / 2.5 CAP), transformé en 400 m NAT ; 20' BIKE ; 10' CAP) a donc été choisi pour cette étude. Les raisons sont celles induites par la revue de littérature.

Le 400 m natation est effectué en solitaire en bassin de 25 m afin de limiter les effets du drafting (qui certes est présent dans ce type de course, mais cela conduirait à des biais important). Il est effectué sans combinaison, en trifonction. Le vélo de 10 km a été modifié par 20 minutes de vélo sur un Hometrainer SARIS, car cela correspond à 10 km effectué à 30km/h de moyenne (une moyenne correcte pour des débutants). 10 décélérations et 10 accélérations de 6 secondes sont à effectuer, car cela correspond aux temps dans ces zones de puissance sur les schémas de Bentley et al. (2002) sur les efforts d'un vélo en condition de drafting. Pour finir, les 2,5 km de course à pied sont modifiés par 10 minutes, car cela correspond à 15km/h de moyenne ce qui est un temps respectable pour un amateur. L'ensemble du triathlon respecte les proportions classiques d'un triathlon (50/55 % vélo, 30/35 % course à pied, 10/15 % natation).

Les sujets ont passé trois tests préalable afin de pouvoir participer au protocole : un test de 400 m NL en bassin de 25m, 20 minutes de vélo enchaînés avec dix décélérations en roue libre de 6 secondes et dix accélérations supérieures à PMA si possible de 6 secondes sur home trainer (HT), 10 minutes de course à pied sur tapis de course.

A la suite de ce pré-testing, les athlètes participèrent au test en deux parties qui consiste en un 400 m NL avec utilisation active des jambes en consigne (protocole 2), ou non utilisation de celle-ci (protocole 1). Il est suivi par 20 minutes de vélo enchaînés avec dix décélérations en roue libre de 6 secondes et dix accélérations supérieures à PMA si possible de 6 secondes sur HT. L'enchaînement se termine par 10 minutes de course à pied sur tapis de course. Le tout est effectué avec une transition entre chaque le plus rapidement possible.

L'ensemble a été réalisé dans le but d'atteindre la meilleure performance globale possible. L'échelle RPE de Borg (0 à 10) a été présenté à chaque athlète à la fin de chaque test, avec pour objectif un minimum de 7/10 (Arney et al, 2019). Les athlètes qui n'ont pas réalisé un effort presque maximal sont une anomalie statistique dans les résultats et leurs performances

seront retirées. Chaque athlète réalisa deux tests avec les deux modalités de natation à une semaine d'écart et dans un ordre randomisé. Le planning complet s'est déroulé comme suit :

- Semaine 1 : lundi testing vélo 10k HT + mercredi testing 400m NL piscine 25m
- Samedi semaine 2 : testing CAP 2,5km tapis
- Samedi semaine 3 : testing protocole 1 / groupe 1 et protocole 2 / groupe 2
- Samedi semaine 4 : testing protocole 2 / groupe 1 et protocole 1 / groupe 2

Durant l'ensemble de ces semaines de protocole, le volume d'entraînement des athlètes était semi contrôlé. Les athlètes pouvaient s'entraîner à leur volume d'entraînement habituel mais ne devaient pas réaliser une séance intense la veille d'un test.

L'ensemble du protocole a été réalisé sur mon lieu de stage, à la piscine municipale de Lomme, 433 Bis Av. de Dunkerque Lomme, 59160 Lille. Nous utilisons jusqu'à 6 vélos HT connectés avec le logiciel Kinomap accompagnés de 6 tablettes tactiles, 6 vélos de route, jusqu'à 3 tapis de course roulant, le bassin de 25m x 6 couloirs, les montres GPS personnelles des athlètes.

## **7. Analyse des résultats**

Les mesures suivantes furent réalisées sur l'ensemble des tests :

### **Natation : 400 m**

Nous mesurons la vitesse moyenne avec les montres GPS individuelles (VMoy400), la vitesse par 100 m (VMoy 0-100; 100-200...), la différence entre le meilleur temps sur 400m et celui du test.

### **Cyclisme : 20 minutes type critérium**

Nous mesurons la puissance moyenne grâce aux capteur du HT (WMoy), la puissance pic moyenne (WPicMoy) et puissance pic rapportées toutes les 2 minutes, le pourcentage de

puissance moyenne du pré-test (%WMoy PT), le pourcentage du meilleur pic de puissance du pré-test lors des tests 1 ou 2 (différence de niveau de performance de l'athlète entre les Tests et le Prétest), le pourcentage du meilleur pic du même Test (niveau de conservation du meilleur pic de l'athlète lors du test, est ce que l'athlète a réalisé une relance puissante puis s'est écroulé, ou est ce qu'il a maintenu un effort intense tout au long de l'épreuve) appelé %WPic.

### **Course à pied : 10 minutes**

Nous avons mesurée la vitesse moyenne grâce aux capteurs du tapis de course (VMoy), la vitesse par 4 - 4 - 2 min (VMoy 0-4, 4-8, 8-10), la fréquence de pas moyenne (FMoy) et par intervalle (FMoy 0-4...). Pour finir nous comparons les relevés de vitesse moyenne et de fréquence moyenne aux valeurs du pré-test (%VMoy PT ; %FMoy PT).

Lorsque ce sera nécessaire, nous utiliserons le d de Cohen afin de montrer la taille d'un effet dans le but de diminuer la portée du faible nombre de testés. Pour cette étude, nous nous référons aux tailles d'effet suivantes :  $0 < \text{Trivial} < 0,2 < \text{Faible} < 0,5 < \text{Moyen} < 0,8 < \text{Fort}$  comme l'indique Cook (2008).

L'objectif est de comparer les différents paramètres de la natation entre eux ainsi que ceux du vélo et de la course à pied.

Nous allons montrer si le protocole 1 influence plus ou moins le vélo et la course à pied et que le protocole 2. Ces deux protocoles ont été comparé à nos tests témoins.

## **8. Traitement statistique**

Afin de traiter les données recueillies, nous avons compilé l'ensemble des éléments dans un tableur excel. Par la suite, nous avons calculé dans ce tableau les moyennes et écarts types des différentes caractéristiques de nos sujets.

Nous pouvons ensuite déterminer la normalité de la distribution de tous les paramètres grâce au test de Shapiro et Wilk. Il y a donc deux échantillons appariés puisque les deux protocoles seront réalisés une fois chacun par les mêmes personnes.

Nous n'avons pas comparé nos éléments dans une Anova pour échantillons dépendants car le volume de notre échantillon est très faible et une étude globale n'est pas nécessaire. Nous examinons les résultats deux à deux grâce à un test de T Student pour échantillons appariés si la distribution est normale et un test de Mann et Whitney s'elle ne l'est pas. Nous souhaitons notamment comparer les résultats de puissance du test en cyclisme en fonction des deux modalités de nage précédente.

Nous avons par la suite discuté de la relation entre l'utilisation des jambes et les différents paramètres de la performance en cyclisme et en course à pied grâce à une corrélation de Pearson si la distribution est normale et une corrélation de Spearman si elle ne l'est pas.

## **9. Résultats**

Sept athlètes ont donc pu participer à l'ensemble du protocole de test. Nous allons vous présenter dans la partie suivante les résultats de cette étude concernant les effets des différentes utilisations des jambes en natation sur l'ensemble de l'enchaînement d'un triathlon indoor.

Afin de simplifier la lecture des résultats, nous appellerons le test sans l'utilisation des jambes "T1", le test avec l'utilisation des jambes "T2" et le prétest "PT".

Comme nous l'avons précédemment explicité, nous souhaitons recueillir les RPE de tous les athlètes à la fin de chaque test et pré-test, afin que si l'athlète considère son effort en dessous de 7/10 sur l'échelle RPE (Voir Tableau n°18) qui représente un effort très difficile. Nous avons également comparé les RPE du T1 et du T2 afin de déterminer si une différence significative existait (les valeurs de RPE T1 et T2 suivent une loi normale d'après le Tableau n°3 avec  $p=0,083$ ) dans un test de T Student et les différences entre les deux se sont révélées non significatives avec une valeur de  $p=0,356$  (Tableau n°2 dans la partie "Vélo").

### **9.1 Test T Student**

#### **9.1.1 Natation**

Un test de normalité (Tableau n°7 en annexe) a été réalisé, les conditions de normalité sont respectées sur ces échantillons ( $p>0,05$  sur tous les échantillons).

Nous avons testé les paramètres de VMoy sur 400m et de VMoy sur chaque fraction de 100 de la course. Nous avons également testé la différence de vitesse moyenne entre le PT, le T1 et T2.

Les résultats du test sont présentés en annexe (*Graphique n°9 et Tableau n°8*). Selon le Test T de Student (*Tableau n°9 en annexe*), aucun des paramètres n'a reçu une valeur de  $p < 0.05$  et donc il n'y a pas de différence significative entre les allures moyennes, les allures par 100m et les fractions d'allures du 400m du PT.

### 9.1.2 Vélo

Un test de normalité a été réalisé, les conditions de normalité sont respectées sur ces échantillons ( $p > 0.05$  sur tous les échantillons) (*Tableau n°3*).

Dans un premier temps, nous avons effectué le Test T afin de déterminer s'il y avait une différence entre les valeurs de WMoy, WPicMoy, %WPic, %WBESTPic PT, %WMoy PT de chaque test (T1 et T2). L'ensemble des puissances ont été ramenées en W/kg-1. Les résultats du test sont présentés en annexe (*Graphiques n°1 à 6*).

Selon le Test T de Student (*Tableau n°2 ci dessous*), des différences significatives ont été trouvées pour les paramètres de WPicMoy ( $p=0,035$ ), %BESTPic PT ( $p=0,036$ ) et %WPic ( $p=0,003$ ). Une différence non significative a été notée pour les paramètres de WMoy ( $p=0,093$ ) et de %WMoyPT ( $p=0,106$ ).

Nous avons donc par la suite déterminé lequel des deux tests était supérieur à l'autre en termes de valeur. Nous avons ainsi réalisé le test T pour  $T2 > T1$  et ajouté le d de Cohen afin d'en connaître la taille d'effet. Le test s'est révélé significatif pour quatre paramètres sur les cinq, à savoir WMoy ( $p=0,047$  ;  $d=0,753$ ) avec une différence moyenne de 4,45%, WPicMoy ( $p=0,017$  ;  $d=1,025$ ) avec une différence moyenne de 9,59%, %BESTPic PT ( $p=0,018$  ;  $d=1,014$ ) avec une différence moyenne de 8,25%, %WPic ( $p=0,001$  ;  $d=1,882$ ) avec une différence moyenne de 5,39%. Sur ces quatre paramètres, trois d'entre eux voient leurs taille d'effet qualifiée comme "forte" et un d'entre un "moyen" (WMoy).

La valeur de p n'est pas significative pour le paramètre de %WMoy PT ( $p=0,053$  ;  $d=0,720$ ) avec une différence moyenne de 4,29%.

### Test t pour échantillons appariés

			statistique	ddl	p		Taille de l'effet
WMoy T2	WMoy T1	t de Student	1.99	6.00	0.093	d de Cohen	0.753
%WMoy PT (2)	%WMoy PT (1)	t de Student	1.90	6.00	0.106	d de Cohen	0.720
WPicMoy T2	WPicMoyT1	t de Student	2.71	6.00	0.035	d de Cohen	1.025
%BESTPic PT (2)	%BESTPic PT (1)	t de Student	2.68	6.00	0.036	d de Cohen	1.014
%WPic T2	%WPic T1	t de Student	4.98	6.00	0.003	d de Cohen	1.882
RPE T2	RPE T1	t de Student	1.00	6.00	0.356	d de Cohen	0.378

Note.  $H_0: \mu_{\text{Mesure 1}} - \mu_{\text{Mesure 2}} \neq 0$

Tableau n°2 : Test de T Student pour échantillons appariés pour T1 différent de T2 (vélo)

### 9.1.3 Course à pied

Un test de normalité a été réalisé, les conditions de normalité sont respectées sur ces échantillons ( $p > 0,05$  sur tous les échantillons).

Sur le test course à pied, nous avons effectué le test de T Student en prenant en compte les paramètres de VMoy, VMoy 0-4, 4-8 et 8-10 minutes, FMoy, FMoy par les mêmes intervalles, %VMoy PT et %FMoy PT. Les résultats sont présentés ci après (Tableau n°5).

Lors du test de T Student pour échantillons appariés, aucune différence significative n'a été déterminée. Nous voyons que les différences plus importantes se retrouvent sur la VMoy 8-10 minutes ( $p=0,098$  ;  $d=0,7399$ ) et sur la FMoy 8-10 minutes ( $p=0,143$  ;  $d=0,6372$ ). Dans ces deux domaines, le T1 est supérieur au T2. Sur les autres résultats, les valeurs de p sont supérieures à  $p=0,388$ .

Nous avons également cherché les différences des T1 et T2 sur VMoy et FMoy par rapport au test sec (PT) grâce à un autre test de T Student. Le test de normalité s'est avéré positif (Tableau n°6).

Des résultats significatifs ont été trouvés pour VMoy PT > VMoy T1 ( $p=0,037$  ;  $d=0,816$ ) et VMoy PT > VMoy T2 ( $p=0,002$  ;  $d=1,681$ ). Ces deux tailles d'effets sont considérées comme fortes ( $>0.8$ ).

FMoy PT > FMoy T1 n'a pas révélé de différence significative, mais FMoy PT > FMoy T2 l'a été ( $p=0,042$  ;  $d=0,783$ ) avec une taille d'effet moyenne ( $>0,5$ ).

Test t pour échantillons appariés							
			statistique	ddl	p		Taille de l'effet
VMoy T1	VMoy T2	t de Student	0.0381	6.00	0.971	d de Cohen	0.0144
VMoy 0-4 T1	VMoy 0-4 T2	t de Student	-0.3871	6.00	0.712	d de Cohen	-0.1463
VMoy 4-8 T1	VMoy 4-8 T2	t de Student	-0.5692	6.00	0.590	d de Cohen	-0.2151
VMoy 8-10 T1	VMoy 8-10 T2	t de Student	1.9576	6.00	0.098	d de Cohen	0.7399
FMoy T1	FMoy T2	t de Student	0.0598	6.00	0.954	d de Cohen	0.0226
FMoy 0-4 T1	FMoy 0-4 T2	t de Student	-0.9303	6.00	0.388	d de Cohen	-0.3516
FMoy 4-8 T1	FMoy 4-8 T2	t de Student	0.4833	6.00	0.646	d de Cohen	0.1827
FMoy 8-10 T1	FMoy 8-10 T2	t de Student	1.6859	6.00	0.143	d de Cohen	0.6372
%VMoy PT (1)	%VMoy PT (2)	t de Student	0.1927	6.00	0.854	d de Cohen	0.0728
%FMoy PT (1)	%FMoy PT (2)	t de Student	0.0585	6.00	0.955	d de Cohen	0.0221

Note.  $H_0: \mu_{\text{Mesure 1}} - \mu_{\text{Mesure 2}} = 0$

Tableau n°5 : Test Normalité et Test T échantillons appariés pour T1 différent de T2 (Course à pied)

## 9.2 Test de Pearson

Nous avons réalisé un test de corrélation partielle de Pearson afin de déterminer les possibles corrélations entre les différentes performances des trois sports pratiqués. Nous rappelons que ces résultats sont compris pour un N=7 (Voir *Tableau n°1*). Nous avons pu retenir des corrélations suivantes :

WMoy T1 est corrélé à WMoy T2 ( $r=0,948$ ). WPic T1 est également corrélé à WPic T2 ( $r=0,957$ ).

Le %BESTPic PT (T1) est corrélé au %BESTPic PT (T2) ( $r=0,879$ ) et à la WPicMoy T1 ( $r=0,845$ ) et la WPicMoy T2 ( $r=0,895$ ).

Les VMoy400 de T1 et T2 sont corrélés aux WMoy T1 ( $r=0,778$ ) et pour WMoy T2 ( $r=0,890$ ).

Le %WMoy PT (T1) du vélo est inversement corrélé au %VMoy PT (T1) de la course à pied ( $r=-0,927$ ). VMoy400 T2 est inversement corrélé au %FMoy PT (T2) ( $r=-0,799$ ).

La VMoy400 T1 et T2 sont inversement corrélés au %VMoy PT T1 ( $r=-0,823$ ) et T2 ( $r=-0,830$ ).



## **10. Discussion**

Avant de discuter des résultats, il nous paraît essentiel de faire une analyse du public que nous avons pu accueillir pour ce test.

Le groupe de base de dix athlètes s'étant disloqué au cours de la phase de testing, nous avons dû terminer les tests avec seulement sept résultats valables.

Comme l'a confirmé l'analyse de normalité effectuée dans la partie population, nous nous sommes retrouvés avec un échantillon relativement hétérogène en termes d'âge, de niveau d'entraînement, de niveau de performance. Ce ne sont évidemment pas des conditions idéales pour mener une étude sur un sport d'endurance. Malheureusement, nous avons dû faire face à la réalité du terrain et au fait que mon club ne comporte pas de sportif de haut niveau en nombre suffisant pour réaliser une étude de ce type. Nous avons donc dû piocher dans un vivier d'adultes amateurs plus âgés et de jeunes amateurs afin de pouvoir avoir un minimum de dix personnes dans l'échantillon de base. Étant donné ce constat, il est raisonnable de dire que l'ensemble des résultats qui vont être présentés par la suite sont critiquables d'emblée du point de vue du volume de l'échantillon, de sa qualité et de son hétérogénéité.

À présent, nous pouvons traiter les résultats, nous rappelons que les groupes ont été mélangés lors de leurs T1 et T2 afin d'éviter au maximum le biais d'expérience.

### **10.1 Natation**

Lors des tests en natation, l'utilisation des jambes était régulée. Nous désirions dans un premier temps filmer la natation afin de pouvoir relever la fréquence de jambe des athlètes, mais cela ne s'est pas révélé possible et la lecture de la vidéo n'a rien pu relever d'exploitable. Nous avons donc dû nous résoudre à compter sur la sensation des athlètes pour différencier l'usage des jambes et le non-usage de celles-ci. Par conséquent, il n'est pas possible de prouver une corrélation entre la fréquence d'usage des jambes et les différents paramètres de la performance du triathlon. Il est néanmoins possible d'établir que lorsque les athlètes ont intentionnellement utilisé plus leurs jambes (sachant que chaque nageur utilise ses jambes différemment, certains

pas du tout, d'autres beaucoup, dans des conditions normales comme le dit Silveira et al. en 2017) leurs performances ont évolué en natation, vélo et course à pied.

Nous pouvons constater sur les résultats qu'il n'y a pas de différence significative entre les tests 1 et 2 concernant la performance en natation en termes de vitesse. À savoir, lors des deux tests, les nageurs ont réalisé une fraction de leur meilleur 400m similaire. Nous pourrions à la rigueur noter une différence légère en termes de cinématique d'allure, c'est-à-dire que les deux tests ne sont pas parfaitement réguliers, le premier 100 m est sur tous les tests le plus rapide pour tous les nageurs. Aucune différence n'est notable sur le plan de la VMoy400, de la vitesse moyenne par 100 m et de la fraction de vitesse de leur PT sur les T1 et T2 (Test de T Student avec un  $p > 0.05$  pour tous les aspects testés). On peut donc déduire que nous n'avons pas pu montrer de différence entre l'utilisation des jambes et la non-utilisation des jambes sur la vitesse en natation lors d'un triathlon indoor.

Il est possible que chez des nageurs plus expérimentés, ce résultat eut été différent. Il est possible que grâce à une mesure de la fréquence de jambe de chacun, nous puissions déterminer des profils, ou encore trouver des différences significatives entre la fréquence de jambe et la vitesse. D'après Silveira et al. (2017) le gain apporté par l'utilisation peut aller jusqu'à 11% en crawl chez des nageurs expérimentés, mais certains nageurs voient même leurs performances diminuer avec l'utilisation des jambes. Il est envisageable que mes nageurs peu expérimentés (et pas nageurs de formation) ne gagnent pas ou peu de temps avec l'utilisation des jambes. Il aurait été intéressant de pouvoir recueillir la FC des nageurs lors de la natation pour donner des indications sur le niveau d'effort réel des deux modules.

## **10.2 Vélo**

Concernant à présent le vélo, nous avons pu retracer les performances des athlètes grâce au matériel de la TIR, notamment les données de puissances moyennes et instantanées, mais pas les données de fréquence de pédalage, qui auraient pu être intéressantes, mais qui à nouveau devront être éludées à cause des moyens techniques.

Nous ne pourrions pas non plus analyser les paramètres de fréquence cardiaque, ceux-ci ayant subi des coupures de captation voir des cessations d'émission complètes durant certains

tests. Ces données ont donc été utilisées uniquement dans le but de vérifier le niveau d'intensité de ceux qui ont pu conserver la connectivité sur l'ensemble des tests.

Nous pouvons voir sur les résultats présentés (*Tableau n°2*) que le Test de T Student a révélé des différences significatives. Nous avons, par la suite, étudié l'hypothèse de  $T2 > T1$  et le test a révélé que pour quatre aspects,  $T2 > T1$  était significatif. D'après le test de Student, les athlètes lors du T2 ont développé plus de WMoy que sur le T1 (+4,45%). La performance générale est améliorée. Dans un second temps, les athlètes ont réussi un meilleur %BESTPic (+8,25%) et %WPic (+4,29%) lors du second test. Cela implique une meilleure constance dans l'effort maximal de relance. Si on le transformait en format de course avec d'autres individus, cela permettrait de rester plus longtemps dans un groupe avec des athlètes plus forts, ou de s'échapper d'un groupe avec des athlètes moins forts par exemple. Cela peut être dû au fait que l'utilisation des jambes lors de la natation a évité une forme d'endormissement, a préparé les jambes à un effort intense, à la manière d'un échauffement. À l'inverse, le test sans jambes les laisse moins actives, plus froides, avec moins d'afflux sanguin. Selon Roulier et al. (2018), un échauffement spécifique est plus efficace qu'un échauffement général pour produire de la puissance avec les membres inférieurs. Il est donc possible que la natation (sans les jambes) ne permette pas d'échauffer de manière propre les membres inférieurs afin de produire de la puissance sur un vélo par la suite.

D'après Rothschild et Crocker (2019a), une natation de 2 km affecterait un effort à vélo à intensité incrémentale maximale d'une diminution de 4,5% de la puissance maximale développée comparée au même test à vélo sec. Sur notre test, nous retrouvons des écarts de puissance entre WPicMoy PT et WPicMoy T1 de 16,56% ; et avec WPicMoy T2 de 6,36%. On peut donc affirmer que lors du second test (avec jambes en natation), les triathlètes ont su amener plus de puissance en moyenne sur les dix relances demandées que sur le test sans jambes. Les valeurs du test 2 sont proches de celles de Rothschild et Jeffrey pour le Test 2. Une seconde étude de Rothschild et al (2019b) montre une différence de 6% entre un test à vélo maximal de 3 minutes précédé d'une natation de 2km et un test sec de 3 minutes.

Concernant les corrélations entre la partie natation et la partie vélo, nous avons principalement trouvé des liens entre les niveaux des athlètes, à savoir que les athlètes les plus forts en natation étaient aussi ceux qui étaient les plus forts à vélo (meilleur WMoy, meilleur %BESTPic PT...). Nous avons aussi pu nous rendre compte que les meilleurs cyclistes du T1

étaient aussi ceux du T2 grâce à des corrélations entre les %BESTPic PT et les WPicMoy des T1 et T2. Nous n'avons pas trouvé de corrélation significative entre la fraction de la vitesse en natation et la puissance à vélo comme le suggérait Bentley et al. (2006), même si elle tend vers une corrélation inversée ( $r=-0,593$  et  $r=-0,439$ ) non significative.

Ces tests sont significatifs pour la partie cycliste sur les paramètres énoncés dans H1 qui est donc valable, mais il est indispensable à nouveau de préciser que  $N=7$  et que cela est un échantillon de faible taille. Bien que la taille d'effet des paramètres soit moyenne ou forte, l'hétérogénéité du public reste un biais important.

### **10.3 Course à pied**

En course à pied, grâce aux tapis de course et aux montres connectées, nous avons pu analyser la vitesse moyenne, vitesse par intervalles et la fréquence de pas moyenne et par intervalles.

Nous remarquons qu'il n'y a pas de différence significative entre les deux tests T1 et T2.

Les seules différences remarquables (mais non significatives) sont situées sur les deux dernières minutes de course, où les athlètes du T1 ont réussi à terminer plus rapidement que ceux du T2 (+6,70%) mais pour une vitesse moyenne similaire, ce qui implique le fait que les athlètes du T2 ont peut-être été plus régulier dans leur course, tandis que les athlètes du T1 ont peut-être réussi à mieux terminer celle-ci.

L'effort à vélo et en natation a significativement réduit de 7,94% (T1) et 8,06% (T2) la vitesse moyenne en course à pied comparativement au Prétest. La fréquence moyenne, elle, diminue significativement de 1.77 PPM (pas par minute) pour le T2 et non significativement de 1.66 PPM pour le T1. Cela rejoint l'étude de 2019 de Guillermo et al. qui nous montrait que lors d'un enchaînement vélo / course à pied à haute intensité, la vitesse à pied et la fréquence à pied diminuait par rapport à un test sec.

Donc nous pouvons estimer que H2 n'est pas valable étant donné le peu de preuves significatives, donc H0' est validé.

Il aurait été intéressant de porter notre attention vers la baisse du centre de gravité, l'oscillation verticale et bien sûr la fréquence cardiaque pour pouvoir comparer de manière plus approfondie les deux tests par rapport au test sec. L'étude du coût énergétique de la course à pied

après un effort de ce type pourrait être intéressant également comme l'a démontré Du Plessis et al. (2020). Néanmoins, la mise en place d'un test similaire avec une épreuve de natation en plus semble peu réalisable d'un point de vue technique. À nouveau, le niveau des athlètes et le volume de l'échantillon entachent certainement de biais cette analyse de nos tests.

Il paraîtrait que plus un athlète roule à une fraction élevée de sa meilleure performance, plus sa vitesse en course à pied sera une faible fraction de sa meilleure performance ( $r=-0,927$ ) lors du premier test. Tandis que lors du second test, il semble que plus l'athlète nage vite son 400m, moins il conserve sa fréquence sur la partie pédestre ( $r=-0,799$ ).

Pour finir, plus l'athlète serait rapide sur la natation et moins il courrait sur une fraction rapide de sa meilleure course à pied, pour les deux tests, ( $rT1=-0,823$  ;  $rT2=-0,979$ ).

Il est possible que ces corrélations ne soient pas recevables, pour prouver leur existence, il faudrait probablement réaliser des tests avec un enchaînement uniquement natation puis course à pied et le comparer avec celui-ci. Nous ne pouvons pas savoir quel est l'impact du vélo, et même des transitions sur chacune des parties du triathlon si nous ne les isolons pas.

Étant donné qu'il s'agit de tests dits "à fond", nous ne pouvons pas savoir quelle est la part de l'instinct de conservation dans la baisse de performance d'un athlète ou de l'autre.

Le matériel joue une part importante dans le diagnostic de cette étude également, il a été impossible d'offrir à tous une qualité de test similaire à cause de problèmes matériels survenus lors des efforts, cela a pu perturber certains et avantager d'autres.

Ce travail de mémoire offre différentes perspectives quant à ce sujet, nous ne pensons pas que la question de l'utilisation des jambes ait été entièrement répondu. Nous suggérons qu'un travail réduit à l'enchaînement natation vélo pourrait trouver son sens avec un relevé détaillé de deux variables supplémentaires qui sont la fréquence de jambe en natation et la fréquence de pédalage en vélo. Un échantillon plus homogène et de plus haut niveau d'entraînement serait également plus adapté.

De manière individuelle, ce mémoire nous a permis d'apporter des connaissances supplémentaires dans l'entraînement en triathlon grâce à l'approfondissement de la revue de littérature et la veille scientifique effectuée. Il nous permettra également d'apporter des propositions stratégiques à certains athlètes demandeurs ainsi qu'aux jeunes.

## 11. Conclusion

Bien que le nombre de sujets de cette étude soit faible, il semblerait qu'il y ait une différence de résultat entre réaliser un triathlon avec une natation sans les jambes et un triathlon avec une natation avec les jambes, notamment en ce qui concerne la partie cycliste type critérium.

Les résultats de ce travail de mémoire ont montré des différences significatives en ce qui concerne la puissance moyenne développée, les pics de puissances moyens (parmi les 10 pics de puissance observés) et la conservation du meilleur pic de puissance entre un vélo succédant à une natation sans les jambes ou avec les jambes.

Il semblerait que l'utilisation des jambes sur une natation de 400m permette d'améliorer la performance à vélo et ne diminuerait pas la performance en course à pied qui lui succède.

Sur un triathlon XS (400/10/2.5), le gain de puissance serait de 0,7 W/kg en ce qui concerne le pic de puissance et de 0,11 W/kg en ce qui concerne la puissance moyenne. Pour notre athlète moyen de 68 kg, cela revient donc à un gain de 47,8 W en puissance pic pure et de 7,48 W en puissance moyenne pure.

Il est possible que la durée du triathlon, comme l'a montré Lauren et al (2000) influence ce choix stratégique puisque sur un enchaînement longue distance, la natation paraît avoir peu d'influence sur les performances à vélo. Il est à rappeler que ce type de format rapide, comme nous l'avons testé, est de plus en plus fréquent, même sur la scène olympique, avec l'avènement du relais mixte (300/8/1,5). Il serait donc intéressant d'étudier une stratégie sur les triathlons plus long comme le triathlon olympique, où le vélo est également de type critérium, afin de peut-être, n'utiliser les jambes que sur une partie du parcours.

Malgré l'ensemble de ces tests, il est évident qu'une stratégie n'est opérable que lorsque le niveau de l'athlète le permet. En effet, si le niveau de natation de l'athlète ne lui permet pas de sortir avec les meilleurs groupes, il cherchera coûte que coûte à y accéder et à réaliser probablement une natation la plus rapide possible, quitte à en payer les conséquences par la suite.

## 12. Références :

Adrian, M. J., M. Singh, et P. V. Karpovich. 1966. « Energy Cost of Leg Kick, Arm Stroke, and Whole Crawl Stroke ». *Journal of Applied Physiology* 21 (6): 1763-66. <https://doi.org/10.1152/jappl.1966.21.6.1763>.

Armstrong, R.B. 1986. « Muscle Damage and Endurance Events ». *Sports Medicine* 3 (5): 370-81. <https://doi.org/10.2165/00007256-198603050-00006>.

Arney, Blaine E., Reese Glover, Andrea Fusco, Cristina Cortis, Jos J. de Koning, Teun van Erp, Salvador Jaime, Richard P. Mikat, John P. Porcari, et Carl Foster. 2019. « Comparison of RPE (Rating of Perceived Exertion) Scales for Session RPE ». *International Journal of Sports Physiology and Performance* 14 (7): 994-96. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0637>.

Baldassarre, Roberto, Cristian Ieno, Marco Bonifazi, Andrea Di Castro, Antonio Gianfelici, et Maria Francesca Piacentini. 2022. « Carbohydrate Supplementation during a Simulated 10-Km Open Water Swimming Race: Effects on Physiological, Perceptual Parameters and Performance. » *European Journal of Sport Science* 22 (3): 390-98. <https://doi.org/10.1080/17461391.2021.1880644>.

Bassett, D. R., J. Flohr, W. J. Duey, E. T. Howley, et R. L. Pein. 1991. « Metabolic Responses to Drafting during Front Crawl Swimming ». *Medicine and Science in Sports and Exercise* 23 (6): 744-47. <https://doi.org/PMID:1886484>.

Bentley, David J., Sebastien Libicz, Aurelie Jouglu, Olivier Coste, Jerome Manetta, Karim Chamari, et Gregoire P. Millet. 2007. « The Effects of Exercise Intensity or Drafting during Swimming on Subsequent Cycling Performance in Triathletes ». *Journal of Science and Medicine in Sport* 10 (4): 234-43. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2006.05.004>.

Bentley, David J., Gregoire P. Millet, Veronica E. Vleck, et Lars R. McNaughton. 2002. « Specific Aspects of Contemporary Triathlon: Implications for Physiological Analysis and Performance ». *Sports Medicine* 32 (6): 345-59. <https://doi.org/10.2165/00007256-200232060-00001>.

Bergh, U., B. Sjödén, A. Forsberg, et J. Svedenhag. 1991. « The Relationship between Body Mass and Oxygen Uptake during Running in Humans ». *Medicine and Science in Sports and Exercise* 23 (2): 205-11. <https://doi.org/PMID:2017016>.

Bernard, T. 2003. « Effect of cycling cadence on subsequent 3 km running performance in well trained triathletes \* Commentary ». *British Journal of Sports Medicine* 37 (2): 154-59. <https://doi.org/10.1136/bjism.37.2.154>.

Bonacci, Jason, Daniel Green, Philo U. Saunders, Peter Blanch, Melinda Franettovich, Andrew R. Chapman, et Bill Vicenzino. 2010. « Change in Running Kinematics after Cycling Are Related to Alterations in Running Economy in Triathletes ». *Journal of Science and Medicine in Sport* 13 (4): 460-64. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2010.02.002>.

Bonacci, Jason, Philo U. Saunders, Mark Alexander, Peter Blanch, et Bill Vicenzino. 2011. « Neuromuscular Control and Running Economy Is Preserved in Elite International Triathletes after Cycling ». *Sports Biomechanics* 10 (1): 59-71. <https://doi.org/10.1080/14763141.2010.547593>.

Brisswalter, Hausswirth, Smith, Vercruyssen, et Vallier. 2000. « Energetically Optimal Cadence vs. Freely-Chosen Cadence During Cycling: Effect of Exercise Duration ». *International Journal of Sports Medicine* 21 (1): 60-64. <https://doi.org/10.1055/s-2000-8857>.

Brisswalter, J., C. Hausswirth, F. Vercruyssen, M. Collardeau, J. M. Vallier, R. Lepers, et C. Goubault. 2000. « Carbohydrate Ingestion Does Not Influence the Change in Energy Cost during a 2-h Run in Well-Trained Triathletes ». *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 81 (1-2): 108-13. <https://doi.org/10.1007/PL00013781>.

Chapman, Andrew R., Bill Vicenzino, Peter Blanch, Steve Dowlan, et Paul W. Hodges. 2008. « Does Cycling Affect Motor Coordination of the Leg during Running in Elite Triathletes? ». *Journal of Science and Medicine in Sport* 11 (4): 371-80. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2007.02.008>.



Chatard, J. C., J. M. Lavoie, et J. R. Lacourl. 1990. « Analysis of Determinants of Swimming Economy in Front Crawl ». *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 61 (1 2): 88 92. <https://doi.org/10.1007/BF00236699>.

Chatard, J. C., X. Senegas, M. Selles, P. Dreanot, et A. Geysant. 1995. « Wet Suit Effect: A Comparison between Competitive Swimmers and Triathletes ». *Medicine and Science in Sports and Exercise* 27 (4): 580 86. <https://doi.org/PMID: 7791590>.

Chatard, Jean-Claude, Didier Chollet, et Grégoire Millet. 1998. « Performance and Drag during Drafting Swimming in Highly Trained Triathletes ». *Medicine & Science in Sports & Exercise* 30 (8): 1276 80. <https://doi.org/10.1097/00005768-199808000-00015>.

Chatard, Jean-Claude, et Grégoire Millet. 1996. « Effects of Wetsuit Use in Swimming Events: Practical Recommendations ». *Sports Medicine* 22 (2): 70 75. <https://doi.org/10.2165/00007256-199622020-00002>.

Chollet, D., O. Hue, F. Auclair, G. Millet, et J. C. Chatard. 2000. « The effects of drafting on stroking variations during swimming in elite male triathletes ». *European Journal of Applied Physiology* 82 (5 6): 413 17. <https://doi.org/10.1007/s004210000233>.

Cook, Chad. 2008. « Clinimetrics Corner: Use of Effect Sizes in Describing Data ». *Journal of Manual & Manipulative Therapy* 16 (3): 54E-57E. <https://doi.org/10.1179/jmt.2008.16.3.54E>.

Cordain, L., et R Kopriva. 1991. « Wetsuits, Body Density and Swimming Performance. ». *British Journal of Sports Medicine* 25 (1): 31 33. <https://doi.org/10.1136/bjism.25.1.31>.

Costill, D., J. Kovaleski, D. Porter, J. Kirwan, R. Fielding, et D. King. 1985. « Energy Expenditure During Front Crawl Swimming: Predicting Success in Middle-Distance Events ». *International Journal of Sports Medicine* 06 (05): 266 70. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1025849>.

Craig, A. B., et D. R. Pendergast. 1979. « Relationships of Stroke Rate, Distance per Stroke, and Velocity in Competitive Swimming ». *Medicine and Science in Sports* 11 (3): 278 83. <https://doi.org/PMID: 522640>.

Cuba-Dorado, Alba, Oscar Garcia-Garcia, Verónica Morales-Sánchez, et Antonio Hernández-Mendo. 2020. « The Explanatory Capacity of Talent Identification Tests for Performance in Triathlon Competitions: A Longitudinal Analysis ». *Journal of Human Kinetics* 75 (1): 185 93. <https://doi.org/10.2478/hukin-2020-0047>.

De Vito, G., M. Bernardi, E. Sproviero, et F. Figura. 1995. « Decrease of Endurance Performance During Olympic Triathlon ». *International Journal of Sports Medicine* 16 (01): 24 28. <https://doi.org/10.1055/s-2007-972958>.

Delextrat, Anne, Thierry Bernard, Christophe Hausswirth, Fabrice Vercauysen, et Jeanick Brisswalter. 2003. « Port de combinaison et dépense énergétique lors d'un enchaînement natation-cyclisme ». *Canadian Journal of Applied Physiology* 28 (3): 356 69. <https://doi.org/10.1139/h03-026>.

Delextrat, Anne, Jeanick Brisswalter, Christophe Hausswirth, Thierry Bernard, et Jean-Marc Vallier. 2005. « Does Prior 1500-m Swimming Affect Cycling Energy Expenditure in Well-Trained Triathletes? ». *Canadian Journal of Applied Physiology* 30 (4): 392 403. <https://doi.org/10.1139/h05-129>.

Delextrat, Anne, Véronique Tricot, Thierry Bernard, Fabrice Vercauysen, Christophe Hausswirth, et Jeanick Brisswalter. 2005. « Modification of Cycling Biomechanics during a Swim-to-Cycle Trial ». *Journal of Applied Biomechanics* 21 (3): 297 308. <https://doi.org/10.1123/jab.21.3.297>.

Demarie, Sabrina, Emanuele Chirico, Antonio Gianfelici, et Giuseppe Vannozzi. 2019. « Anaerobic Capacity Assessment in Elite Swimmers through Inertial Sensors ». *Physiological Measurement* 40 (6): 064003. <https://doi.org/10.1088/1361-6579/ab205d>.

Dengel, Donald R., Michael G. Flynn, David L. Costill, et John P. Kirwan. 1989. « Determinants of Success during Triathlon Competition ». *Research Quarterly for Exercise and Sport* 60 (3): 234 38. <https://doi.org/10.1080/02701367.1989.10607445>.

Du Plessis, Chantelle, Anthony J. Blazevich, Chris Abbiss, et Jodie Cochrane Wilkie. 2020. « Running Economy and Effort after Cycling: Effect of Methodological Choices ». *Journal of Sports Sciences* 38 (10): 1105 14. <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1742962>.

Farber, H. W., E. J. Schaefer, R. Franey, R. Grimaldi, et N. S. Hill. 1991. « The Endurance Triathlon: Metabolic Changes after Each Event and during Recovery ». *Medicine and Science in Sports and Exercise* 23 (8): 959 65. <https://doi.org/PMID: 1956272>.

Finlay, J. B., A. F. Hartman, et R. C. Weir. 1995. « Post-Swim Orthostatic Intolerance in a Marathon Swimmer ». *Medicine and Science in Sports and Exercise* 27 (9): 1231 37. <https://doi.org/PMID: 8531620>.

Gay, Ana, Jesús J. Ruiz-Navarro, Francisco Cuenca-Fernández, Óscar López-Belmonte, J. Arturo Abrales, Ricardo J. Fernandes, et Raúl Arellano. 2022. « The Impact of Wetsuit Use on Swimming Performance, Physiology and Biomechanics: A Systematic Review ». *Physiologia* 2 (4): 198 230. <https://doi.org/10.3390/physiologia2040016>.

Gourgoulis, Vassilios, Alexia Boli, Nikolaos Aggeloussis, Argyris Toubekis, Panagiotis Antoniou, Panagiotis Kasimatis, Nikolaos Vezos, Maria Michalopoulou, Antonis Kambas, et Georgios Mavromatis. 2014. « The Effect of Leg Kick on Sprint Front Crawl Swimming ». *Journal of Sports Sciences* 32 (3): 278 89. <https://doi.org/10.1080/02640414.2013.823224>.

Hauswirth, Christophe, et Jeanick Brisswalter. 2008. « Strategies for Improving Performance in Long Duration Events: Olympic Distance Triathlon ». *Sports Medicine* 38 (11): 881 91. <https://doi.org/10.2165/00007256-200838110-00001>.

Hauswirth, Christophe, Didier Lehmann, Patrick Drano, et Kai Savonen. 1999. « Effects of Cycling Alone or in a Sheltered Position on Subsequent Running Performance during a Triathlon »: *Medicine & Science in Sports & Exercise* 31 (4): 599 604. <https://doi.org/10.1097/00005768-199904000-00018>.

Hauswirth, Christophe, Jean-Marc Vallier, Didier Lehenaff, Jeanick Brisswalter, Darren Smith, Gregoire Millet, et Patrick Dreano. 2001. « Effect of Two Drafting Modalities in Cycling on Running Performance »: *Medicine and Science in Sports and Exercise* 33 (3): 485-92. <https://doi.org/10.1097/00005768-200103000-00023>.

Holmér, Ingauvar. 1974. « Energy Cost of Arm Stroke, Leg Kick, and the Whole Stroke in Competitive Swimming Styles ». *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 33 (2): 105-18. <https://doi.org/10.1007/BF00449512>.

Hue, Olivier, Daniel Le Gallais, Didier Chollet, Alain Boussana, et Christian Préfaut. 1997. « The influence of prior cycling on biomechanical and cardiorespiratory response profiles during running in triathletes ». *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 77 (1-2): 98-105. <https://doi.org/10.1007/s004210050306>.

Kreider, Richard B., Tommy Boone, Walter R. Thompson, Scott Burkes, et Charles W. Cortes. 1988. « Cardiovascular and Thermal Responses of Triathlon Performance »: *Medicine & Science in Sports & Exercise* 20 (4): 385-90. <https://doi.org/10.1249/00005768-198808000-00010>.

Landers, G. J., B. A. Blanksby, T. R. Ackland, et D. Smith. 2000. « Morphology and Performance of World Championship Triathletes ». *Annals of Human Biology* 27 (4): 387-400. <https://doi.org/10.1080/03014460050044865>.

Landers, Grant J., Brian A Blanksby, Timothy R Ackland, et Ronald Monson. 2008. « Swim Positioning and Its Influence on Triathlon Outcome », 10. <https://doi.org/PMC4739296>.

Laursen, Paul B., Edward C. Rhodes, et Robert H. Langill. 2000. « The effects of 3000-m swimming on subsequent 3-h cycling performance: implications for ultraendurance triathletes ». *European Journal of Applied Physiology* 83 (1): 28-33. <https://doi.org/10.1007/s004210000229>.

Lepers, R., G. Y. Millet, N. A. Maffiuletti, C. Hauswirth, et J. Brisswalter. 2001. « Effect of pedalling rates on physiological response during endurance cycling ». *European Journal of Applied Physiology* 85 (3-4): 392-95. <https://doi.org/10.1007/s004210100465>.

- Lepers, R., F. Sultana, T. Bernard, C. Hausswirth, et J. Brisswalter. 2010. « Age-Related Changes in Triathlon Performances ». *International Journal of Sports Medicine* 31 (04): 251 56. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1243647>.
- Liedl, Mark A., David P. Swain, et J. David Branch. 1999. « Physiological Effects of Constant versus Variable Power during Endurance Cycling ». *Medicine & Science in Sports & Exercise* 31 (10): 1472. <https://doi.org/10.1097/00005768-199910000-00018>.
- Macaluso, Filippo, Rosario Barone, Ashwin W. Isaacs, Felicia Farina, Giuseppe Morici, et Valentina Di Felice. 2013. « Heat Stroke Risk for Open-Water Swimmers During Long-Distance Events ». *Wilderness & Environmental Medicine* 24 (4): 362 65. <https://doi.org/10.1016/j.wem.2013.04.008>.
- McCole, S. D., K. Claney, J. C. Conte, R. Anderson, et J. M. Hagberg. 1990. « Energy Expenditure during Bicycling ». *Journal of Applied Physiology* 68 (2): 748 53. <https://doi.org/10.1152/jappl.1990.68.2.748>.
- Millet, G. P. 2000. « Physiological and biomechanical adaptations to the cycle to run transition in Olympic triathlon: review and practical recommendations for training ». *British Journal of Sports Medicine* 34 (5): 384 90. <https://doi.org/10.1136/bjism.34.5.384>.
- Millet, G. P., D. Chollet, S. Chabies, et J. C. Chatard. 2002. « Coordination in Front Crawl in Elite Triathletes and Elite Swimmers ». *International Journal of Sports Medicine* 23 (2): 99 104. <https://doi.org/10.1055/s-2002-20126>.
- Millet, G. P., G. Y. Millet, et R. B. Candau. 2001. « Duration and Seriousness of Running Mechanics Alterations after Maximal Cycling in Triathletes. Influence of the Performance Level ». *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 41 (2): 147 53. <https://doi.org/PMID:11447354>.
- Millet, Grégoire P., Patrick Dréano, et David J. Bentley. 2003. « Physiological Characteristics of Elite Short- and Long-Distance Triathletes ». *European Journal of Applied Physiology* 88 (4): 427 30. <https://doi.org/10.1007/s00421-002-0731-0>.

Millet, Grégoire, Didier Chollet, Jean-Claude Chatard, et G. P. Millet. 2000. « Effects of drafting behind a two- or a six-beat kick swimmer in elite female triathletes ». *European Journal of Applied Physiology* 82 (5 6): 465 71. <https://doi.org/10.1007/s004210000232>.

Olcina, Guillermo, Miguel Perez-Sousa, Juan Escobar-Alvarez, et Rafael Timón. 2019. « Effects of Cycling on Subsequent Running Performance, Stride Length, and Muscle Oxygen Saturation in Triathletes ». *Sports* 7 (5): 115. <https://doi.org/10.3390/sports7050115>.

O'Toole, Mary L., W Douglas, B. Hiller, Melinda S. Roalstad, et Pamela S. Douglas. 1988. « Hemolysis during Triathlon Races: Its Relation to Race Distance ». *Medicine & Science in Sports & Exercise* 20 (3): 272 75. <https://doi.org/10.1249/00005768-198806000-00010>.

Padilla, Sabino, Iigo Mujika, Javier Orbanos, et Francisco Angulo. 2000. « Exercise Intensity during Competition Time Trials in Professional Road Cycling ». *Medicine & Science in Sports & Exercise* 32 (4): 850 56. <https://doi.org/10.1097/00005768-200004000-00019>.

Palazzetti, S., I. Margaritis, et C. Y. Guezennec. 2005. « Swimming and Cycling Overloaded Training in Triathlon Has No Effect on Running Kinematics and Economy ». *International Journal of Sports Medicine* 26 (3): 193 99. <https://doi.org/10.1055/s-2004-817923>.

Palmer, Garry S., Lars B. Borghouts, Timothy D. Noakes, et John A. Hawley. 1999. « Metabolic and Performance Responses to Constant-Load vs. Variable-Intensity Exercise in Trained Cyclists ». *Journal of Applied Physiology* 87 (3): 1186 96. <https://doi.org/10.1152/jappl.1999.87.3.1186>.

Palmer, Garry S., Timothy D. Noakes, et John A. Hawley. 1997. « Effects of Steady-State versus Stochastic Exercise on Subsequent Cycling Performance ». *Medicine & Science in Sports & Exercise* 29 (5): 684 87. <https://doi.org/10.1097/00005768-199705000-00015>.

Peeling, P D. 2005. « Effect of Swimming Intensity on Subsequent Cycling and Overall Triathlon Performance \* Commentary ». *British Journal of Sports Medicine* 39 (12): 960 64. <https://doi.org/10.1136/bjism.2005.020370>.

Prampero, P. E. di, G. Cortili, P. Mognoni, et F. Saibene. 1979. « Equation of Motion of a Cyclist ». *Journal of Applied Physiology* 47 (1): 201 6. <https://doi.org/10.1152/jappl.1979.47.1.201>.

- Quigley, Edward J., et James G. Richards. 1996. « The Effects of Cycling on Running Mechanics ». *Journal of Applied Biomechanics* 12 (4): 470 79. <https://doi.org/10.1123/jab.12.4.470>.
- Roels, B. 2005. « Specificity of  $\dot{V}O_{2MAX}$  and the Ventilatory Threshold in Free Swimming and Cycle Ergometry: Comparison between Triathletes and Swimmers ». *British Journal of Sports Medicine* 39 (12): 965 68. <https://doi.org/10.1136/bjism.2005.020404>.
- Romijn, J. A., E. F. Coyle, L. S. Sidossis, A. Gastaldelli, J. F. Horowitz, E. Endert, et R. R. Wolfe. 1993. « Regulation of Endogenous Fat and Carbohydrate Metabolism in Relation to Exercise Intensity and Duration ». *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism* 265 (3): E380 91. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.1993.265.3.E380>.
- Rothschild, Jeffrey, et George H. Crocker. 2019a. « Effects of a 2-Km Swim on Markers of Cycling Performance in Elite Age-Group Triathletes ». *Sports* 7 (4): 82. <https://doi.org/10.3390/sports7040082>.
- Rothschild, Jeffrey, et George H. Crocker. 2019b. « Effects of a 2-Km Swim on Markers of Cycling Performance in Elite Age-Group Triathletes ». *Sports* 7 (4): 82. <https://doi.org/10.3390/sports7040082>.
- Roulier, Lauriane, et Charlotte Senechaud. 2018. « Impact de l'échauffement spécifique sur les performance en puissance du sportif ». [https://patrinum.ch/record/175827/files/HESAV\\_TB\\_Roulier\\_2018.pdf](https://patrinum.ch/record/175827/files/HESAV_TB_Roulier_2018.pdf).
- Schabort, Elske J., Selwyn C. Killian, Alan St Clair Gibson, John A. Hawley, et Timothy D. Noakes. 2000. « Prediction of Triathlon Race Time from Laboratory Testing in National Triathletes ». *Medicine & Science in Sports & Exercise* 32 (4): 844 49. <https://doi.org/10.1097/00005768-200004000-00018>.
- Silveira, Ricardo Peterson, Flávio Antônio de Souza Castro, Pedro Figueiredo, João Paulo Vilas-Boas, et Paola Zamparo. 2017. « The Effects of Leg Kick on Swimming Speed and Arm-Stroke Efficiency in the Front Crawl ». *International Journal of Sports Physiology and Performance* 12 (6): 728 35. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2016-0232>.

Smith, Darren, Hamilton Lee, Robert Pickard, Brett Sutton, et Erik Hunter. 1999. « Power demands of the cycle leg during elite triathlon competition ». *Les Cahiers de l'INSEP* 24 (1): 224 30. <https://doi.org/10.3406/insep.1999.2120>.

Swain, D. P. 1994. « The Influence of Body Mass in Endurance Bicycling ». *Medicine and Science in Sports and Exercise* 26 (1): 58 63.

« The Physiological Responses to Running After Cycling in Elite Junior and Senior Triathletes ». 2004. *International Journal of Sports Medicine* 25 (3): 191 97. <https://doi.org/10.1055/s-2003-45259>.

Toussaint, H. M. 1990. « Differences in Propelling Efficiency between Competitive and Triathlon Swimmers ». *Medicine and Science in Sports and Exercise* 22 (3): 409 15. <https://doi.org/PMID: 2381311>.

Toussaint, Huub M., et Peter J. Beek. 1992. « Biomechanics of Competitive Front Crawl Swimming ». *Sports Medicine* 13 (1): 8 24. <https://doi.org/10.2165/00007256-199213010-00002>.

Toussaint, Huub M., et A. Peter Hollander. 1994. « Energetics of Competitive Swimming: Implications for Training Programmes ». *Sports Medicine* 18 (6): 384 405. <https://doi.org/10.2165/00007256-199418060-00004>.

Trappe, Todd A., Raymond D. Starling, Alison C. Jozsi, Bret H. Goodpaster, Scott W. Trappe, Teruo Nomura, Shigeru Obara, et David L. Costill. 1995. « Thermal Responses to Swimming in Three Water Temperatures: Influence of a Wet Suit ». *Medicine & Science in Sports & Exercise* 27 (7): 1014 21. <https://doi.org/10.1249/00005768-199507000-00010>.

Vercruyssen, F., C. Hausswirth, D. Smith, et J. Brisswalter. 2001. « Effect of Exercise Duration on Optimal Pedaling Rate Choice in Triathletes ». *Canadian Journal of Applied Physiology = Revue Canadienne De Physiologie Appliquée* 26 (1): 44 54. <https://doi.org/PMID: 11173669>.

Vercruyssen, Fabrice, Jeanick Brisswalter, Christophe Hausswirth, Thierry Bernard, Olivier Bernard, et Jean-Marc Vallier. 2002. « Influence of Cycling Cadence on Subsequent Running Performance in Triathletes ». *Medicine & Science in Sports & Exercise* 34 (3): 530 36. <https://doi.org/10.1097/00005768-200203000-00022>.



Wolff, A. H., S. R. Coleshaw, C. G. Newstead, et W. R. Keatinge. 1985. « Heat Exchanges in Wet Suits ». *Journal of Applied Physiology* 58 (3): 770-777.  
<https://doi.org/10.1152/jappl.1985.58.3.770>.

### 13. Sitographie :

Larousse, A. (s. d.-a). *pression artérielle ou pression sanguine - LAROUSSE*.  
[https://www.larousse.fr/encyclopedie/medical/pression\\_art%C3%A9rielle/15517](https://www.larousse.fr/encyclopedie/medical/pression_art%C3%A9rielle/15517)

Consulté le 13/01

Reducing Drag. (s. d.-a). *Science in Swimming*.  
<https://scienceinswimming.weebly.com/reducing-drag.html>

Consulté le 09/01

## Corrélation partielle

Corrélation

	% D'allure du meilleur 400m T1	% D'allure du meilleur 400m T1	% D'allure du meilleur 400m T2	% WPic PT	% WMoy PT	% BESTPic PT	% WPic T1	% WMoy PT (2)	% BESTPic PT (2)	% VMoy PT (1)	% FMoy PT (1)	% WMoy PT (2)	% FMoy PT (2)
% D'allure du meilleur 400m T1	r de Pearson valeur p	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
% D'allure du meilleur 400m T2	r de Pearson valeur p	0,930**	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
% WPic PT	r de Pearson valeur p	0,585	0,619	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
% WMoy PT	r de Pearson valeur p	0,168	0,138	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
% BESTPic PT	r de Pearson valeur p	0,049	0,201	0,459	—	—	—	—	—	—	—	—	—
% WPic T1	r de Pearson valeur p	-0,189	-0,144	-0,133	0,666	—	—	—	—	—	—	—	—
% WMoy PT (1)	r de Pearson valeur p	0,684	0,759	0,776	0,102	—	—	—	—	—	—	—	—
% BESTPic PT (1)	r de Pearson valeur p	-0,194	-0,318	-0,606	-0,176	0,612	—	—	—	—	—	—	—
% WMoy PT (2)	r de Pearson valeur p	0,676	0,488	0,149	0,706	0,144	—	—	—	—	—	—	—
% BESTPic PT (2)	r de Pearson valeur p	-0,593	-0,439	-0,130	0,701	0,515	-0,128	—	—	—	—	—	—
% WPic PT (1)	r de Pearson valeur p	0,161	0,324	0,782	0,080	0,237	0,784	—	—	—	—	—	—
% BESTPic PT (2)	r de Pearson valeur p	0,005	0,142	-0,197	0,627	0,879**	0,499	0,448	—	—	—	—	—
% WMoy PT (1)	r de Pearson valeur p	0,992	0,761	0,672	0,132	0,009	0,254	0,313	—	—	—	—	—
% BESTPic PT (1)	r de Pearson valeur p	0,049	0,195	0,364	0,269	-0,471	-0,927**	0,382	-0,296	—	—	—	—
% FMoy PT (1)	r de Pearson valeur p	0,916	0,676	0,422	0,560	0,286	0,003	0,398	0,520	—	—	—	—
% WMoy PT (2)	r de Pearson valeur p	-0,363	-0,210	0,327	0,312	0,131	-0,216	0,275	-0,047	0,088	—	—	—
% FMoy PT (2)	r de Pearson valeur p	0,423	0,651	0,474	0,495	0,780	0,642	0,551	0,920	0,850	—	—	—
% WPic PT (2)	r de Pearson valeur p	0,243	0,390	-0,062	-0,410	-0,655	-0,442	-0,335	-0,264	0,444	-0,014	—	—
% BESTPic PT (2)	r de Pearson valeur p	0,599	0,388	0,895	0,362	0,111	0,321	0,463	0,567	0,318	0,977	—	—
% FMoy PT (2)	r de Pearson valeur p	0,803*	0,601	0,257	-0,207	-0,072	0,233	-0,694	-0,025	-0,370	-0,657	-0,128	—
% WPic PT (2)	r de Pearson valeur p	0,030	0,154	0,579	0,656	0,879	0,615	0,083	0,957	0,415	0,109	0,785	—

Note: \* p < .05, \*\* p < .01, \*\*\* p < .001

## 14. Annexes

Tableau n°1 : Corrélation partielle de Pearson natation, vélo, course à pied

Test de normalité (Shapiro-Wilk)

		W	p
WMoy T2	- WMoy T1	0.967	0.873
%WMoy PT (2)	- %WMoy PT (1)	0.952	0.750
WPicMoy T2	- WPicMoyT1	0.944	0.677
%BESTPic PT (2)	- %BESTPic PT (1)	0.977	0.945
%WPic T2	- %WPic T1	0.860	0.150
RPE T2	- RPE T1	0.833	0.086

Note. Une valeur p faible suggère une violation de la condition de normalité

Statistiques descriptives

	N	Moyenne	Médiane	Ecart-type	Erreur standard
WMoy T2	7	3.127	2.860	0.5082	0.1921
WMoy T1	7	2.993	2.850	0.4066	0.1537
%WMoy PT (2)	7	1.019	1.010	0.0780	0.0295
%WMoy PT (1)	7	0.977	0.970	0.0399	0.0151
WPicMoy T2	7	7.754	8.520	2.0323	0.7681
WPicMoyT1	7	7.077	6.960	1.6459	0.6221
%BESTPic PT (2)	7	0.929	0.960	0.1477	0.0558
%BESTPic PT (1)	7	0.854	0.890	0.1097	0.0415
%WPic T2	7	1.019	1.010	0.0780	0.0295
%WPic T1	7	0.815	0.810	0.0660	0.0249
RPE T2	7	7.429	7	1.2724	0.4809
RPE T1	7	7.143	7	1.2150	0.4592

Tableau n°3 : Test de Normalité et statistiques descriptives des tests réalisés à vélo

## Test t pour échantillons appariés

Test t pour échantillons appariés

			statistique	ddl	p		Taille de l'effet
WMoy T2	WMoy T1	t de Student	1.99	6.00	0.047	d de Cohen	0.753
%WMoy PT (2)	%WMoy PT	t de Student	1.90	6.00	0.053	d de Cohen	0.720
WPicMoy T2	WPicMoyT1	t de Student	2.71	6.00	0.017	d de Cohen	1.025
%BESTPic PT (2)	%BESTPic PT	t de Student	2.68	6.00	0.018	d de Cohen	1.014
%WPic T2	%WPic T1	t de Student	4.98	6.00	0.001	d de Cohen	1.882

Note.  $H_a: \mu_{\text{Mesure 1}} - \mu_{\text{Mesure 2}} > 0$

Tableau n°4 : Test T échantillons appariés pour T2>T1 (vélo)

Test de normalité (Shapiro-Wilk)				
			W	p
VMoy T1	-	VMoy T2	0.959	0.809
VMoy 0-4 T1	-	VMoy 0-4 T2	0.895	0.301
VMoy 4-8 T1	-	VMoy 4-8 T2	0.913	0.417
VMoy 8-10 T1	-	VMoy 8-10 T2	0.930	0.548
FMoy T1	-	FMoy T2	0.995	0.999
FMoy 0-4 T1	-	FMoy 0-4 T2	0.910	0.397
FMoy 4-8 T1	-	FMoy 4-8 T2	0.931	0.563
FMoy 8-10 T1	-	FMoy 8-10 T2	0.897	0.312
%VMoy PT (1)	-	%VMoy PT (2)	0.937	0.608
%FMoy PT (1)	-	%FMoy PT (2)	0.995	0.999

Note. Une valeur p faible suggère une violation de la condition de normalité

Test t pour échantillons appariés							
			statistique	ddl	p	Taille de l'effet	
VMoy T1	VMoy T2	t de Student	0.0381	6.00	0.971	d de Cohen	0.0144
VMoy 0-4 T1	VMoy 0-4 T2	t de Student	-0.3871	6.00	0.712	d de Cohen	-0.1463
VMoy 4-8 T1	VMoy 4-8 T2	t de Student	-0.5692	6.00	0.590	d de Cohen	-0.2151
VMoy 8-10 T1	VMoy 8-10 T2	t de Student	1.9576	6.00	0.098	d de Cohen	0.7399
FMoy T1	FMoy T2	t de Student	0.0598	6.00	0.954	d de Cohen	0.0226
FMoy 0-4 T1	FMoy 0-4 T2	t de Student	-0.9303	6.00	0.388	d de Cohen	-0.3516
FMoy 4-8 T1	FMoy 4-8 T2	t de Student	0.4833	6.00	0.646	d de Cohen	0.1827
FMoy 8-10 T1	FMoy 8-10 T2	t de Student	1.6859	6.00	0.143	d de Cohen	0.6372
%VMoy PT (1)	%VMoy PT (2)	t de Student	0.1927	6.00	0.854	d de Cohen	0.0728
%FMoy PT (1)	%FMoy PT (2)	t de Student	0.0585	6.00	0.955	d de Cohen	0.0221

Note.  $H_a: \mu_{\text{Mesure 1}} - \mu_{\text{Mesure 2}} \neq 0$

Tableau n°5 : Test Normalité et Test T échantillons appariés pour T1 différent de T2 (Course à pied)

## Test t pour échantillons appariés

Test t pour échantillons appariés

			statistique	ddl	p	Taille de l'effet	
VMoy PT	VMoy T1	t de Student	2.16	6.00	0.037	d de Cohen	0.816
	VMoy T2	t de Student	4.45	6.00	0.002	d de Cohen	1.681
FMoy PT	FMoy T1	t de Student	1.33	6.00	0.116	d de Cohen	0.503
	FMoy T2	t de Student	2.07	6.00	0.042	d de Cohen	0.783

Note.  $H_a: \mu_{\text{Mesure 1}} - \mu_{\text{Mesure 2}} > 0$

Test de normalité (Shapiro-Wilk)

			W	p
VMoy PT	-	VMoy T1	0.921	0.480
VMoy PT	-	VMoy T2	0.945	0.682
FMoy PT	-	FMoy T1	0.956	0.785
FMoy PT	-	FMoy T2	0.937	0.614

Note. Une valeur p faible suggère une violation de la condition de normalité

Tableau n°6 : Test T de Student et Normalité pour PT vs T1 et T2 en course à pied

Test de normalité (Shapiro-Wilk)

			W	p
VMoy400 T1 (m.s-1)	-	VMoy400 T2	0.886	0.254
V0-100 T (m.s-1)	-	V0-100 T2	0.928	0.537
V100-200 T (m.s-1)	-	V100-200 T2	0.872	0.195
V200-300 T (m.s-1)	-	V200-300 T2	0.920	0.466
V300-400 T (m.s-1)	-	V300-400 T2	0.856	0.140
% de Meilleur performance sur 400 T1	-	% de Meilleur performance sur 400 T2	0.851	0.125

Note. Une valeur p faible suggère une violation de la condition de normalité

Tableau n°7 : Test de Normalité (Natation)

### Statistiques descriptives

	N	Moyenne	Médiane	Ecart-type	Erreur standard
VMoy400 T1 (m.s-1)	7	0.963	0.971	0.1142	0.0432
VMoy400 T2	7	0.966	1.000	0.1243	0.0470
V0-100 T (m.s-1)	7	1.039	1.053	0.1231	0.0465
V0-100 T2	7	1.049	1.075	0.1135	0.0429
V100-200 T (m.s-1)	7	0.954	0.952	0.1222	0.0462
V100-200 T2	7	0.947	0.971	0.1343	0.0508
V200-300 T (m.s-1)	7	0.942	0.943	0.1160	0.0438
V200-300 T2	7	0.931	0.980	0.1378	0.0521
V300-400 T (m.s-1)	7	0.939	0.935	0.1159	0.0438
V300-400 T2	7	0.953	0.971	0.1244	0.0470
% de Meilleur performance sur 400 T1	7	1.014	0.991	0.0770	0.0291
% de Meilleur performance sur 400 T2	7	1.016	1.000	0.0651	0.0246

Tableau n°8 : Statistiques descriptives (Natation)

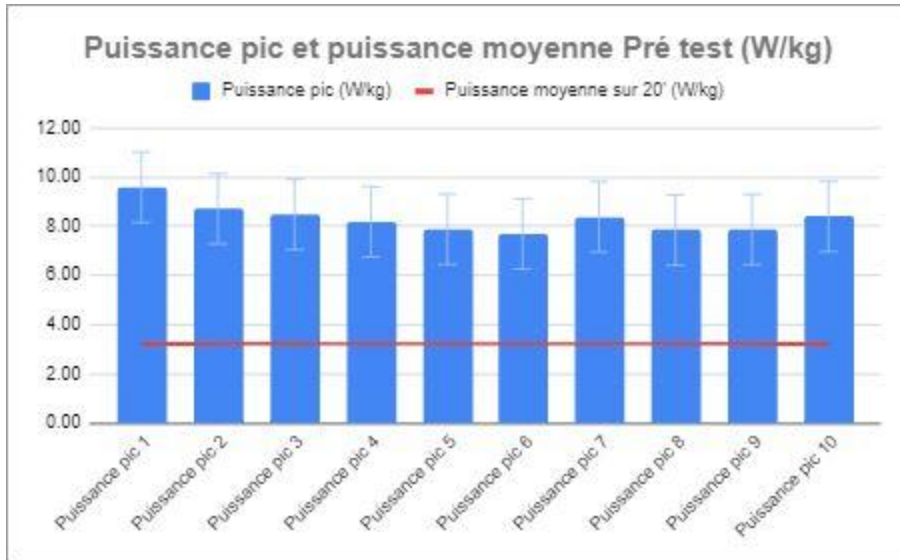
### Test t pour échantillons appariés

#### Test t pour échantillons appariés

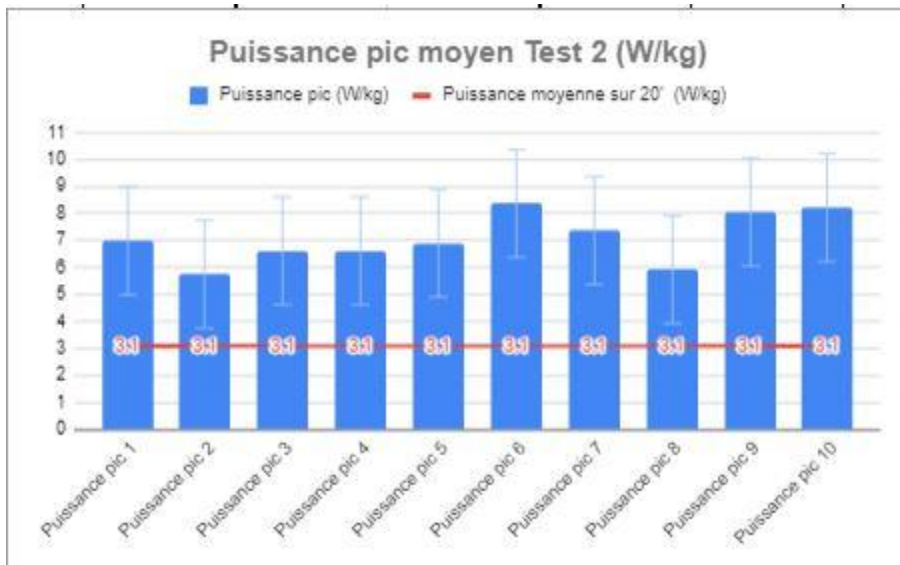
			statistique	ddl	p	Taille de l'effet	
VMoy400 T1 (m.s-1)	VMoy400 T2	t de Student	-0.328	6.00	0.754	d de Cohen	-0.1240
V0-100 T (m.s-1)	V0-100 T2	t de Student	-0.727	6.00	0.494	d de Cohen	-0.2750
V100-200 T (m.s-1)	V100-200 T2	t de Student	0.577	6.00	0.585	d de Cohen	0.2180
V200-300 T (m.s-1)	V200-300 T2	t de Student	0.678	6.00	0.523	d de Cohen	0.2561
V300-400 T (m.s-1)	V300-400 T2	t de Student	-0.822	6.00	0.443	d de Cohen	-0.3105
% de Meilleur performance sur 400 T1	% de Meilleur performance sur 400 T2	t de Student	-0.156	6.00	0.881	d de Cohen	-0.0591

Note.  $H_0: \mu_{\text{Mesure 1}} - \mu_{\text{Mesure 2}} = 0$

Tableau n°9 : Test T de Student pour échantillons appariés pour T1 différent de T2 (Natation)

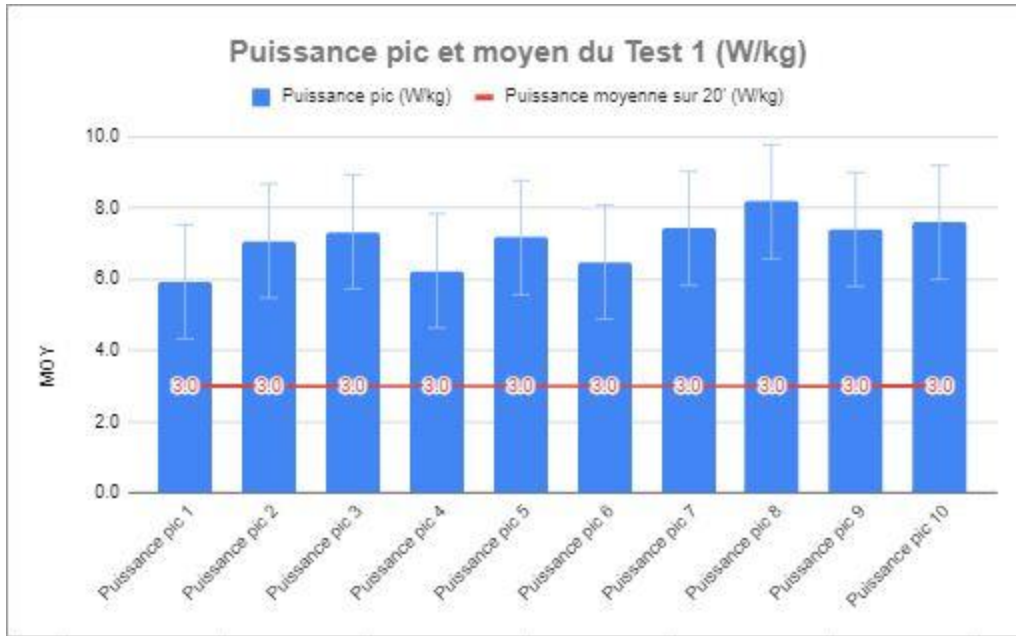


Graphique n°1 : Puissance pic et puissance moyenne du PT

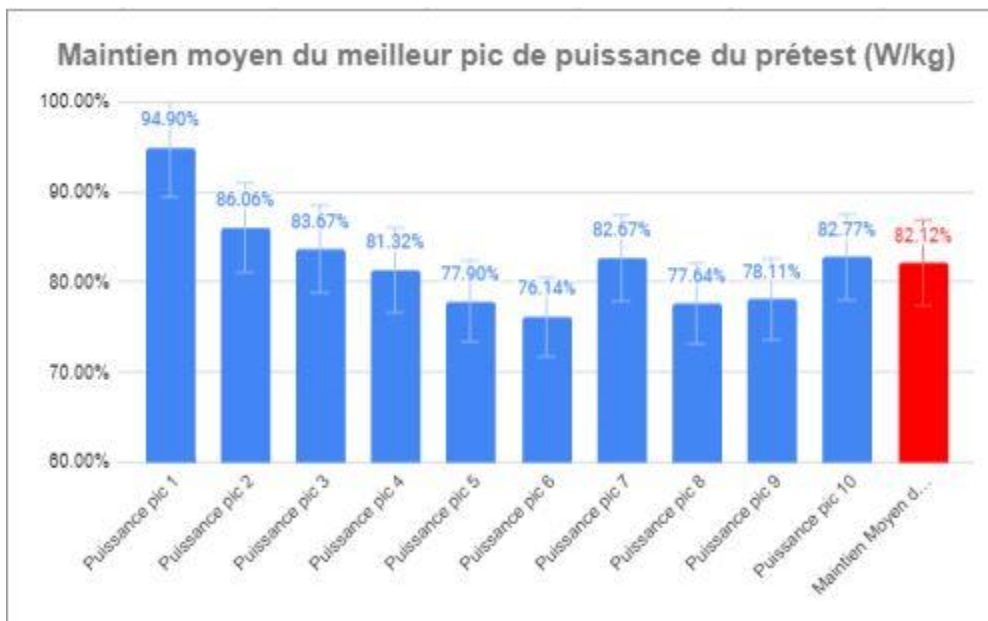


Graphique n°2 : Puissance pic moyen et puissance moyenne T2

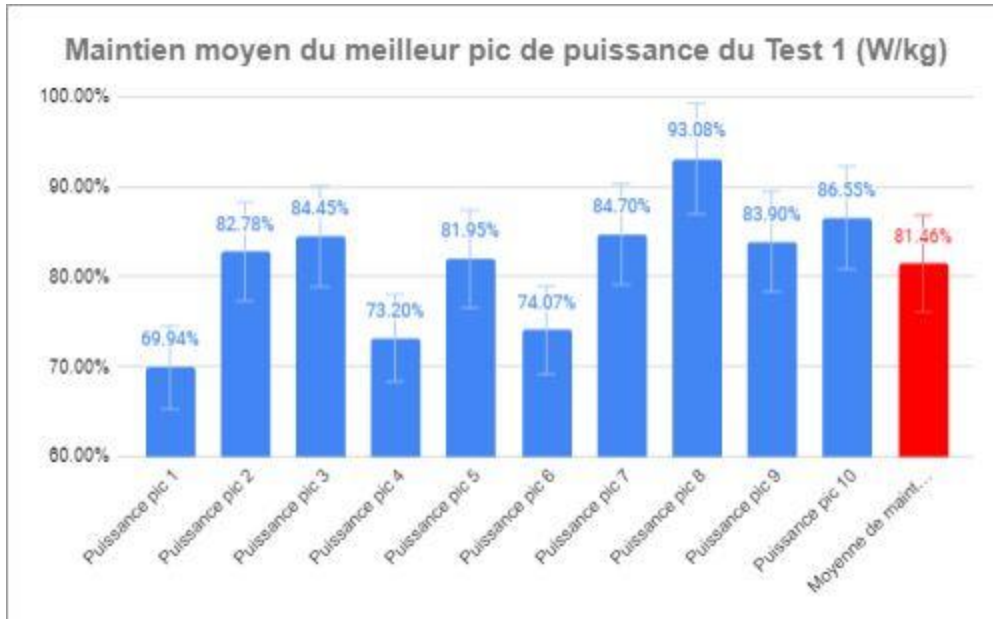




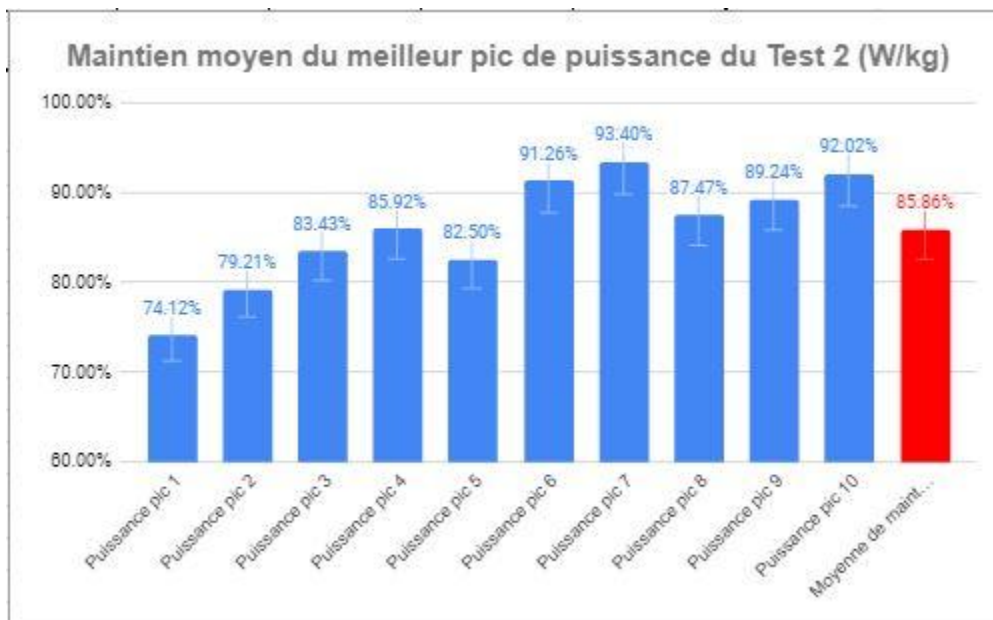
Graphique n°3 : Puissance pic moyen et puissance moyenne T1



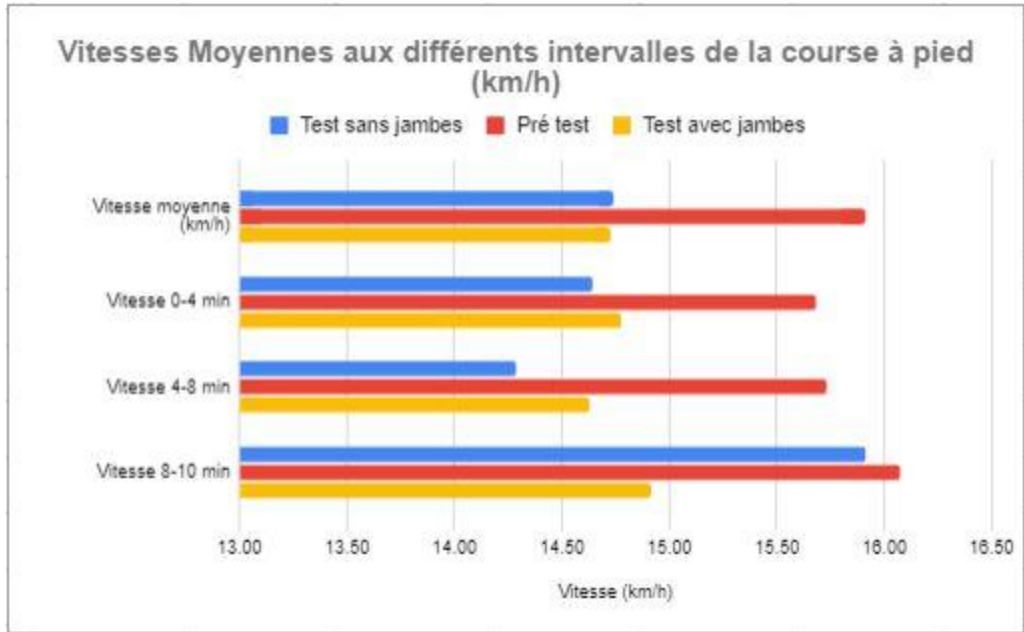
Graphique n°4 : Maintien moyen du meilleur pic de puissance lors du PT



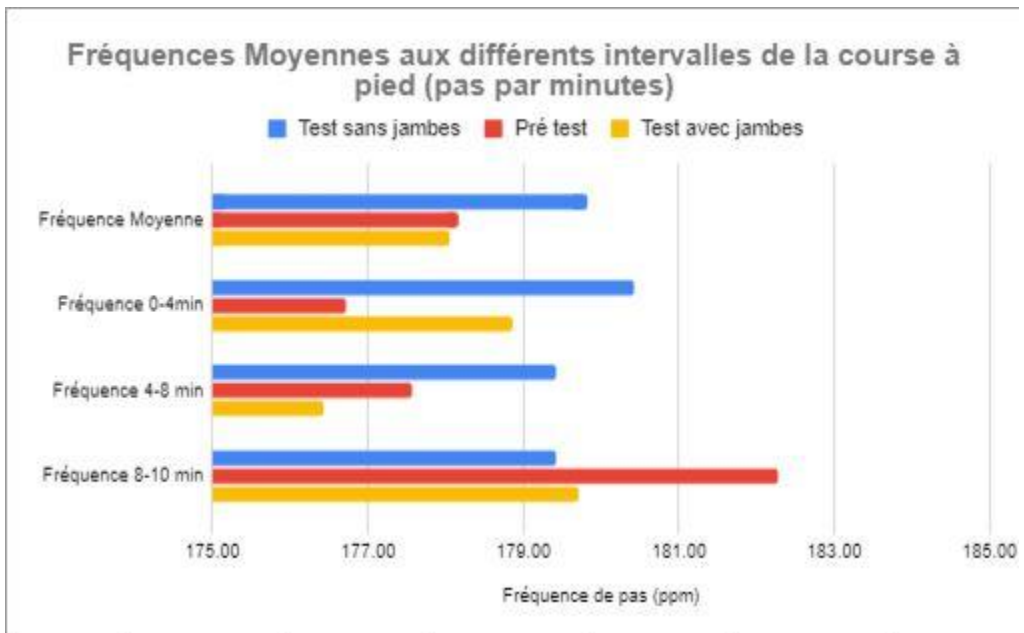
Graphique n°5 : Maintien moyen du meilleur pic de puissance du T1



Graphique n°6 : Maintien moyen du meilleur pic de puissance du T2



Graphique n°7 : Vitesse moyennes aux intervalles de la course à pied



Graphique n°8 : Fréquences moyennes aux différents intervalles de la course à pied

Différence moyenne entre T1 et T2 (T2>T1)	
Puissance moyenne (W)	104.45%
Puissance pic moy	109.59%
Moyenne de maintien du meilleur pic	105.39%
% du meilleur pic prétest	108.25%
% de puissance moy prétest	104.29%

Différence Moyenne avec le prétest	T1	T2
Puissance moyenne (W.kg-1)	102.51%	98.14%
Moyenne puissance pic / personne	118.56%	108.36%
Moyenne de maintien du meilleur pic	101.63%	96.43%

Tableau n°11 : Différence moyenne entre PT et T1/T2 (vélo)

Différence PT vs T1 et T2 Course à pied	T1	T2	T1 vs T2
Vitesse moyenne (km/h)	107.94%	108.06%	100.12%
Vitesse 0-4 min	107.12%	106.19%	99.13%
Vitesse 4-8 min	110.10%	107.52%	97.66%
Vitesse 8-10 min	100.99%	107.76%	106.70%
Fréquence Moyenne	100.93%	100.99%	100.06%
Fréquence 0-4min	102.10%	100.88%	98.80%
Fréquence 4-8 min	101.05%	101.70%	100.65%
Fréquence 8-10 min	98.43%	99.84%	101.43%

Tableau n°12 : Différences moyennes entre PT, T1 et T2

Test de normalité (Shapiro-Wilk)

	W	p
Age	0.818	0.061
Taille (cm)	0.948	0.711
Poids (kg)	0.924	0.502
Volume entraînement (heures)	0.835	0.090
FCMax (bpm)	0.879	0.221
FC Repos (bpm)	0.935	0.596
Vitesse natation 400m (m/s)	0.862	0.157
FTP 20' (W/kg)	0.806	0.047
VMA (km/h)	0.961	0.828

Note. Une valeur p faible suggère une violation de la condition de normalité

Tableau n°13 : Test de normalité population

Statistiques descriptives

	N	Moyenne	Médiane	Ecart-type	Erreur standard
Age	7	27.143	21	16.547	6.2543
Taille (cm)	7	173.714	173	10.704	4.0457
Poids (kg)	7	68.714	70	18.883	7.1371
Volume entraînement (heures)	7	10.571	10	3.309	1.2509
FCMax (bpm)	7	196.571	200	14.444	5.4592
FC Repos (bpm)	7	55.571	58	7.656	2.8938
Vitesse natation 400m (m/s)	7	0.958	1.00	0.158	0.0597
FTP 20' (W/kg)	7	3.030	2.78	0.578	0.2185
VMA (km/h)	7	17.143	17.50	1.864	0.7047

Tableau n°14 : Statistiques descriptives de la population

Triathlon	Natation	Cyclisme	Course à pied
Distance XXS (Relais Mixte)	300m	7.5 km	1.75 km
Distance XS	400 m	10 km	2.5 km
Distance S	750m	20 km	5 km
Distance M	1.5 km	40 km	10 km
Distance L	3 km	80 km	30 km
Distance Half Ironman	1,9km	90 km	21,097 km
Distance XL	4 km	120 km	30 km
Distance XXL ou Ironman	3.8 km	180 km	42.195 km

Catégories d'âge triathlon	
Âge	Catégorie
6-7 ans	Mini-poussin
8-9 ans	Poussin
10-11 ans	Pupille
12-13 ans	Benjamin
14-15 ans	Minime
16-17 ans	Cadet
18-19 ans	Junior
20-39 ans	Sénior
40 ans et +	Vétéran

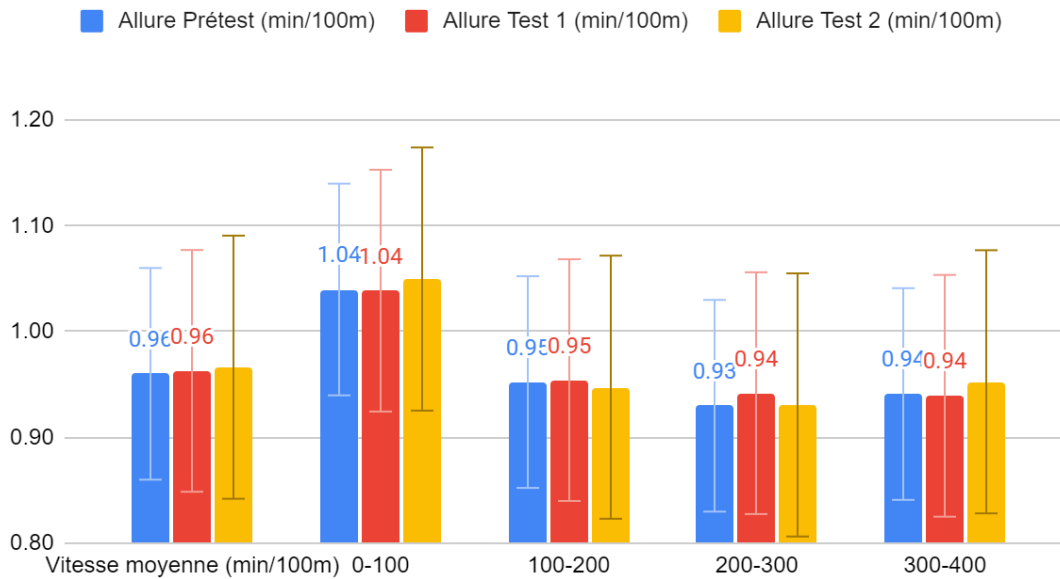
Catégorie d'âge	Natation	Cyclisme	Course à pied
Jeunes 6-9	50 m	1 000 m	500 m
Jeunes 8-11	100 m	2 000 m	1 000 m
Jeunes 10-13	200 m	4 000 m	1 500 m
Jeunes 12-19	300 m	6 000 m	2 000 m
Distance XS (jeunes à partir de benjamin)	400 m	10 km	2.5 km
Distance S (jeunes à partir de cadet)	750m	20 km	5 km

Tableaux n°15, 16 et 17 : Distances et catégories en Triathlon, saison 2023

Hommes	Epreuve	Natation		Vélo		Course à pied		TOTAL	
	Catégorie	Pro	Amateurs 40-44	Pro	Amateurs 40-44	Pro	Amateurs 40-44	Pro	Amateurs 40-44
Ironman Kona	Temps Moyen	0:50:09	0:58:06	4:11:52	4:38:32	2:44:02	3:09:04	7:50:51	8:52:44
	Ecart type	0:02:01	0:04:53	0:04:31	0:06:27	0:04:26	0:08:02	0:07:09	0:09:36
JO / World Champ	Temps Moyen	0:18:10	0:22:22	0:56:14	0:56:57	0:30:14	0:39:51	1:45:46	2:04:01
	Ecart type	0:00:17	0:04:53	0:00:16	0:01:15	0:00:18	0:02:05	0:00:19	0:02:09
Relais JO	Passage	Relais 1				Relais 2			
	Temps Moyen	0:20:22				0:20:34			
	Ecart type	0:00:15				0:00:20			
Femmes	Epreuve	Natation		Vélo		Course à pied		TOTAL	
	Catégorie	Pro	Amateurs 30-34	Pro	Amateurs 30-34	Pro	Amateurs 30-34	Pro	Amateurs 30-34
Ironman	Temps Moyen	0:55:22	1:06:38	4:44:07	5:20:30	3:09:07	3:29:50	8:53:37	10:04:51
	Ecart type	0:02:45	0:06:44	0:05:01	0:13:39	0:09:03	0:08:54	0:09:27	0:12:45
JO / World Champ	Temps Moyen	0:18:55	0:22:38	1:03:00	1:02:14	0:34:34	0:43:54	1:57:43	2:14:01
	Ecart type	0:00:27	0:01:47	0:00:10	0:01:48	0:00:44	0:02:27	0:00:40	0:03:12
Relais JO	Passage	Relais 1				Relais 2			
	Temps Moyen	0:21:40				0:22:26			
	Ecart type	0:00:22				0:00:27			

Tableau n°18 : Les moyennes chronométriques des 10 meilleurs athlètes en 2022 par distances et catégories d'âge dans le Triathlon

## Allures moyennes sur le test 400m des 3 Tests



Graphique n°9 : Allures moyennes sur les tests 400m des 3 tests

Borg CR10 Scale	
0	Nothing at all
0.5	Extremely weak (just noticeable)
1	Very weak
2	Weak (light)
3	Moderate
4	Somewhat strong
5	Strong (heavy)
6	
7	Very strong
8	
9	
10	Extremely strong (almost max)
•	Maximal

Tableau n°18 : CR10 scale de Borg



## **Annexe de revue de littérature :**

### **La fréquence de pédalage d'une partie cycliste de Triathlon**

La fréquence de pédalage (FP) est représentée en unité de révolution par minute (rpm). Il s'agit du nombre de tour complet que réalise une pédale, donc une jambe, pendant une minute.

D'après Bentley et al (2002) la fréquence de pédalage est très variable sur une partie cycliste de type critérium, allant de 0 rpm, soit la roue libre, à 120 rpm lors de relances à haute intensité. Sur le Triathlon Olympique de Sydney 2000, les athlètes ont eu une fréquence moyenne entre 60 et 80 rpm (en tenant compte des phases de roue libre) et ont été en roue libre pendant environ 8 minutes 30 sur une course de moins d'une heure. Les roues libres sont généralement produites à l'approche de freinage ou lorsque le drafting est suffisamment important. Cette étude ne factorisant pas les phases de roue libre dans son calcul, il est peu probable que la FP réelle soit autour de ces valeurs. Hausswirth C (1999) détermine que la valeur de FP hors phase de relance et de roue libre sur un triathlon drafting est plutôt aux alentours de 90 à 100 rpm.

Durant des exercices linéaires, Vercruyssen F et al (2001) et Lepers R (2001) ont montré que les cyclistes choisissent de manière automatique des FP au alentours de 89 rpm pour des étapes sur le plat, et autour de 92 rpm pour des CLM. Il a été montré par Brisswalter J et al (2000) que ce choix de FP durant les efforts sous maximaux était aussi la fréquence à laquelle le recrutement neuromusculaire était le plus faible à une même vitesse donnée.

Hausswirth et al (1999) avait démontré que les triathlètes avaient tendance à baisser leur FP au cours d'un exercice intense à FP libre (baisse jusqu'à 83 rpm pour un triathlète contre un maintien à 90 chez les cyclistes). Il est donc possible que le maintien d'une fréquence de pédalage optimale autour de 90 rpm sans baisse notable durant l'exercice soit un facteur de la

performance cycliste. Il serait intéressant de pouvoir capter la FP sur le vélo lors d'un exercice enchaîné afin de notifier une fatigue musculaire.

## **Les effets de la fréquence de pédalage à vélo sur l'enchaînement en course à pied en Triathlon**

Nous avons montré précédemment que la FP était un facteur de performance chez les cycliste et que celle-ci avait tendance à évoluer au cours de la course chez le triathlète. Les différents types d'effort induits par le drafting ou le non drafting sont des paramètres qui la font varier (Hauswirth et al, 1996).

Réduire la FP pour une puissance donnée va nécessairement demander d'augmenter le niveau de force appliqué au pédalier. Augmenter la FP, va donc permettre de réduire cette force appliquée, mais la vitesse gestuelle demandée pour l'accroître peut conduire à une augmentation du coût énergétique et une modification de l'efficacité énergétique.

Il est possible que le fait de modifier la fréquence de pédalage à vélo affecte positivement ou négativement la course à pied enchaînée.

D'après Vercruyssen et al (2002), la FP durant un effort de 30 minutes à environ 73% de VO<sub>2</sub> Max qui permettait la course à pied la plus économique sur 15 minutes d'enchaînement n'était pas la cadence que nous avons vu dans les parties précédentes (90 rpm) mais plutôt une cadence autour de 72 rpm. Les FP plus hautes ont conduit à une augmentation du coût énergétique sur le vélo. Néanmoins, dans des cas où la partie cycliste était plus longue (au-delà de 30 minutes), la différence entre la cadence énergétique optimale et la cadence choisie par l'athlète ont tendance à rétrécir.

Bernard et al (2003) a montré une fatigue moins importante dans une course à pied de 3000m précédée par 20 minutes de cyclisme (>80% VO<sub>2</sub>Max) pour une fréquence entre 80 et 100 rpm par rapport à une cadence à 60 rpm. Il a également montré que de manière systématique, la cadence de pas et la vitesse étaient la plus importante lors des 500 premiers mètres de course à pied.

Il est difficile d'après ces études de déterminer une stratégie de fréquence de pédalage optimale pour permettre un enchaînement en course à pied le plus performant possible. Cela est d'autant plus vrai dans un format de cyclisme en drafting où la proximité de l'adversité rend l'effort très instable comparativement au longue distance où ces paramètres sont plus contrôlables.

## 15. Résumé

**Objectifs :** Le but de cette étude est de déterminer si, un lors d'un triathlon XS, l'utilisation des jambes en natation permet une amélioration de la performance sur un effort à vélo type critérium de 20 minutes et sur une course à pied de 10 minutes.

**Méthode :** Un groupe de 7 triathlètes modérément entraînés (1.73m +/-10.7 ; 68kg +/-18.8 ; 27ans +/-16.17) s'entraînant en moyenne 10.6 +/-3.3 heures par semaine ont réalisé les tests de cette étude. Afin de déterminer ses effets, nous procédons à une phase de prétest (PT) sur les trois disciplines de manière séparées (400m NL en bassin de 25m ; 20 minutes vélo sur HomeTrainer (HT) avec 10 accélérations au-delà de PMA ; 10 minutes de course à pied sur tapis) en semaine 1 et 2. En semaine 3, nous effectuons le premier test avec les mêmes épreuves enchainées, à fond. La moitié du groupe effectue le protocole en n'utilisant pas les jambes en natation (T1), l'autre moitié en utilisant les jambes en natation (T2). Lors de la semaine 4, le même protocole était mis en place, avec la répartition inverse. Les données chronométriques en natation, de puissance à vélo, chronométrique et de fréquence de pas en course à pied, étaient recueillies. Le RPE étaient recueillis afin de déterminer si l'effort était maximal.

**Résultats :** L'étude menée a montré des différences significatives entre le T1 et le T2 pour la puissance moyenne (WMoy), la moyenne de puissance pic (WPicMoy) et la conservation des pics de puissance sur le vélo (%WPic). Sur l'ensemble de ces paramètres, le T2 est supérieur au T1 avec des différences moyennes de +4,45% pour WMoy, +9.59% pour WPicMoy, +5,39% pour %WPic. Aucune différence significative de vitesse n'a été trouvée entre une natation avec et sans jambes pour nos athlètes. Concernant la course à pied, l'effet des jambes ou non en natation n'a pas montré de différence significative, mais l'effet de l'effort complet a réduit la vitesse moyenne en course à pied de 7.94% (T1) et 8.06% (T2) comparativement à la vitesse du PT. La fréquence moyenne, elle, diminue significativement de 1.77 pas par minute (PPM) pour le T2 et non significativement de 1.66 PPM pour le T1.

**Conclusion :** L'utilisation des jambes lors d'une natation de 400m serait recommandée si l'on souhaite optimiser sa puissance et les relances à vélo sur une partie cycliste de type critérium. La faible taille du groupe échantillon ainsi que son niveau peuvent être des biais qui diminuent la crédibilité des informations discutées dans cette étude.

**Mots clés :** triathlon, jambes, vélo critérium

## **Abstract**

**Objectives :** The goal of this study is to identify if during a XS Triathlon, leg kick use generates a performance improvement on successive type criterium 20 minutes bike and 10 minutes of running all out

**Method :** A group of medium-level triathletes (1.73m +/-10.7 ; 68kg +/-18.8 ; 27yo +/-16.17 ) training for an average of 10.6 +/-3.3 hours per week were selected to make this study. To determine those effects, we proceed in a pretest phase (PT) on the three disciplines separated (400m NL in 25m pool ; 20 minutes bike on HomeTrainer (HT) with 10 accelerations above PMA ; 10 minutes running on the treadmill) on week 1. Then on week 2, the first test was done with de same events in a row and full out. Half the group did the test while not using leg kicks during the swimming part (T1), the other half did while using leg kicks during the swimming part (T2). During week 3, the same test was done again, but with the reverse modalities. Chronometric data in swimming, power on the bike, chronometric and strides frequency in running were measured. Heart rate (FC) and perceived effort (RPE) were taken in order to identify if the intensity of effort was maximum.

**Results :** The study showed several significative differences between T1 and T2 for average power (WMoy), average peak power (WPicMoy) and peak power conservation rate on the bike part (%WPic). For those characteristics, T2 was found superior to T1 with average differences equivalent to +4.45% for WMoy, +9.59% for WPicMoy, +5.39% for %WPic. No significative differences were found between the pace of no leg kick swimming and leg kick swimming for those athletes. About the running part, no significant differences were found in the pace between T1 and T2. However, the full-out effort of swimming and biking reduced our athletes' average speed by 7.94% (T1) and 8.06% (T2) compared to PT pace. Average stride frequency was lowered significantly by 1.77 strides per minute (PPM) for T2 and non significantly by 1.66 PPM for T1.

**Conclusion :** The use of leg kicking in a swimming leg as short as 400m would be recommended if you wish to optimize the power and peak power delivered on the bike of a criterium-type cycling leg. The poor size of our group sample and its medium athletic level could be a bias that diminishes the credibility of the information discussed in the study.

**Key words :** triathlon, leg kick, criterium bike

## 16. Compétences

Cette seconde année de Master EOPS aura dans son ensemble été formatrice pour nous tant sur un plan scientifique, méthodologique, mais aussi pratique.

Grâce à ce mémoire et sur les conseils de Mr Daussin, j'ai pu me **former au logiciel JAMOVI**, me permettant une meilleure compréhension des statistiques et des modèles de tableaux plus professionnels.

Grâce à ce mémoire, j'ai pu **mettre en place un vrai protocole** de test complet et goûter le plaisir de l'accomplissement comme le déplaisir de la panne électrique, de la déconnexion Bluetooth... Cette expérience est plus formatrice que l'année dernière.

Le matériel de la **TIR est beaucoup plus maîtrisé** et j'en connais à présent mieux les limites et les avantages. Si je devais refaire un test avec ce matériel, certains paramètres pourraient changer.

Je suis content d'avoir pu **approfondir mes connaissances** dans le monde du triathlon grâce à cette revue de littérature. Cette veille scientifique sera bénéfique pour le futur entraîneur que je désire devenir.