

Année universitaire 2024-2025

Master 1^{ère} année

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

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

MÉMOIRE

TITRE : COMPARAISON DES MÉTHODES HIDIT ET HIIT SUR L'AMÉLIORATION
DES PERFORMANCES EN COURSE À PIED CHEZ LES JEUNES TRIATHLÈTES.

Par : Thomas LE FOUEST

Sous la direction de : Mr Jeremy Coquart

Soutenu à la Faculté des Sciences du Sport et
de l'Éducation Physique le : 19 Mai 2025



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

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier le président du Villeneuve d'Ascq Triathlon Valentin Druard pour l'opportunité d'évoluer au sein du club.

Je veux aussi remercier Kevin Senotier, mon tuteur de stage, pour l'accompagnement à la fois sur le mémoire mais aussi pour l'accompagnement tout au long de l'année. J'ai une pensée aussi pour l'ensemble des coaches qui ont participé à ma réflexion et ma progression : Quentin Misser, Alexis Hupin, Yves Pierrot et Gaetan Delecroix.

Un grand merci aux jeunes qui ont participé à mon mémoire pour leur investissement remarquable tout au long du protocole.

Je remercie Monsieur Coquart pour l'aide et l'accompagnement à la réalisation de ce mémoire.

Je remercie aussi mes camarades de promotion pour les échanges et l'entraide dont nous avons fait preuve pour tous progresser.

Enfin, je remercie mes proches pour leur soutien à toute épreuve tout au long de l'année et depuis bien plus longtemps.

Introduction	1
1. Revue de littérature.....	2
1.1 Définition et histoire du triathlon.....	2
1.2 La course à pied en triathlon	4
1.3 Demandes physiologiques de l'exercice	4
1.4 L'entraînement en endurance.....	6
<i>1.4.1 Exercice intermittent ou continu.....</i>	<i>6</i>
<i>1.4.2 Types d'exercices par intervalles.....</i>	<i>7</i>
1.5 Spécificité du HIDIT	9
2. Problématique.....	10
3. Objectifs.....	10
4. Hypothèse	10
5. Méthode	11
5.1 Milieu professionnel.....	11
5.2 Matériel et méthode.....	11
5.3. Analyse des résultats.....	14
6. Traitement statistique.....	14
7. Résultats	15
8. Discussion	19
9. Conclusion	21
10. Bibliographie.....	22
11. Annexe.....	27
12. Résumés	28
12.1 Français	28
12.2 English	29

Glossaire

HIDIT : high intensity decreasing interval training

HIIT : high intensity interval training

O₂ : oxygène

VO₂max : débit maximal d'O₂ à l'exercice

VMA : vitesse maximale aérobie

SmO₂ : saturation musculaire en O₂

VO₂ : débit d'oxygène à un moment donné

CLM : contre la montre

RPE : « rating of perceived exertion » ou échelle de perception de l'effort

FC : fréquence cardiaque

VES : volume d'éjection systolique

LIHIIT : long intervals high intensity interval training

SIHIIT : short intervals high intensity interval training

FFTri : Fédération Française de Triathlon

CE : coût énergétique

VT : seuil ventilatoire

Tlim : temps jusqu'à épuisement à VO₂max

Introduction

Depuis quelques années le triathlon vit une période importante d'intensification. En France le nombre de licenciés ne fait croître passant de 42700 licenciés à l'issue de la saison 2014 à plus de 66000 annoncés en Janvier 2025 (FFTri). Sur le plan sportif de nombreux records sont battus très régulièrement que ce soit sur le temps total (record de Kritian Blummenfeldt sur Ironman en 7h21min12s en 2021; record olympique de Cassandre Beaugrand en 1h54min55s en 2024) ou bien sur les temps par discipline (record aux championnats du monde Ironman à Kona sur la partie vélo par Sam Laidlow en 3h57min22s en 2023). Ainsi le triathlon présente la particularité d'offrir un choix d'efforts variés par les distances, les intensités, les topographies, les conditions météorologiques que peu de sports peuvent offrir. De par cette complexité et cette demande au sportif, l'entraînement relève pour beaucoup d'un défi. En effet, s'entraîner pour le triathlon requiert un investissement et une rigueur que peu de sports sont à même d'offrir. Pour beaucoup de pratiquants, c'est même cette recherche de l'entraînement absolu qui les pousse au quotidien. En triathlon l'optimisation de l'entraînement et la recherche d'efficacité n'est pas un luxe mais une nécessité. Ainsi les entraîneurs sont à la recherche sans cesse de méthodes d'entraînement qui permettront de maximiser le potentiel des sportifs qu'ils encadrent.

Sur le plan de la recherche, le triathlon a la chance de pouvoir bénéficier des avancées faites par les spécialistes de ses 3 sports composantes. C'est pourquoi les entraîneurs se nourrissent des recherches faites en natation, cyclisme et course à pied ainsi que les recherches faites sur la quantification de la charge d'entraînement. C'est dans une démarche similaire d'apporter une nouvelle réponse aux entraîneurs et sportifs avides de nouveauté et d'optimisation que je propose mon travail. Avec l'apparition du HIDIT décrit dans les travaux de Vaccari & al. (2020, 2023) la question s'est alors posée de savoir si cette méthode présentait des bénéfices par rapport à celle la plus utilisée actuellement en course à pied : le HIIT. Nous proposons donc de comparer ces deux méthodes et d'étudier leur impact sur les performances en course à pied, ici exprimé avec la vitesse maximale aérobie (VMA).

Pour présenter ce mémoire de recherche, nous débuterons par une revue de littérature sur la pratique du triathlon, des déterminants de la performance et plus particulièrement de la course à pied. Puis nous expliciterons notre problématique, nos objectifs et notre hypothèse sur notre thématique de recherche. Nous présenterons ensuite la méthode, le matériel et la population étudiée. Par la suite, nous exposerons les résultats obtenus. Enfin, nous présenterons une partie discussion et conclusion.

1. Revue de littérature

1.1 Définition et histoire du triathlon

D'après la Fédération Française de Triathlon (FFTri) : « Le triathlon consiste à enchaîner dans l'ordre trois activités sportives : natation, cyclisme et course à pied. L'enchaînement s'effectue sans aide extérieure et sans arrêt du chronomètre lors du changement de discipline (transition). »

Le triathlon est une discipline récente dont la première compétition a vu le jour en 1978 à Honolulu, Hawaii (États-Unis) (Markus & Arimany, 2020). Le format initial de cette discipline est aujourd'hui connu sous le nom d'Ironman, dont les distances sont 3,8km de natation, 180km de vélo et 42,2km de course à pied, soit un marathon (Knechtle & al, 2011). Si ce format est celui d'origine et celui qui garde le plus grand prestige, des formats plus courts ont vu le jour avec le temps : format olympique, half-Ironman, triathlon S, triathlon XS. Ces différentes épreuves ont permis de démocratiser le sport partout dans le monde et d'augmenter drastiquement le nombre de participants en le rendant plus accessible physiquement. Progressivement, des épreuves à destination des plus jeunes ont aussi vu le jour, puisque l'épreuve Ironman reste interdite aux moins de 18 ans.

Des fédérations se sont créées partout dans le monde pour organiser et encadrer la pratique. Les fédérations organisent aujourd'hui les compétitions de jeunes ainsi que les formats courtes distances jusqu'au format Olympique (cf Tableau 1, 2 et 3). Les formats Ironman et Half-Ironman sont eux la propriété de l'entreprise Ironman, qui est une société privée à but lucratif qui organise aussi les championnats du monde sur ces formats. Pour les personnes âgées de 25 à 29 ans, le temps moyen de réalisation d'un Ironman est de 12,33 heures, allant de 8,12 heures à 17,43 heures (Knechtle et al., 2024). Pour les distances olympiques, ce temps moyen est réduit à environ 1 h 50 min. Si les fédérations et les clubs captent aujourd'hui une part importante de la pratique, il est tout de même bon de rappeler que de nombreux triathlètes s'entraînent et concourent en dehors du cadre fédéral. En effet, les compétitions fédérales ne sont pas réservées aux licenciés de la fédération. On retrouve donc dans les clubs des pratiquants de tout âge, de tout niveau et avec des pratiques qui peuvent varier de par cette offre diverse de compétitions. On peut aussi mentionner certaines disciplines combinées qui dépendent de la FFTri et qui sont prisées par bon nombre de triathlètes : aquathlon, duathlon, run & bike, ...

Tableaux 1, 2 et 3 : Distances, catégories d'âge et distances selon l'âge en compétition de la FFTRI

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

Il existe ensuite une variété de réalisations de chaque triathlon qui fait de chacun d'entre eux une épreuve unique. Sur la partie natation, tout d'abord, seule la distance est fixée par le format, mais les organisateurs sont libres de jouer avec le type de natation (lac, mer, étang), le type de départ (groupé, roulant, ...). En France, la température minimum de l'eau est de 12°C, faisant du triathlon un sport d'été. Par contre, la combinaison néoprène est obligatoire jusqu'à 18°C et autorisée jusqu'à 24,5°C. (Règlement FFTRI). Il n'existe que peu de règles pour les organisateurs sur les transitions : revêtement, distance, exposition aux éléments, ... Cela fait varier l'importance des transitions d'une épreuve à une autre.

La partie à vélo se réalise selon deux formats possibles : contre la montre (CLM) ou criterium. Cela n'est pas dépendant du format de l'épreuve, sauf pour l'Ironman qui se déroule obligatoirement sous le format CLM. L'organisation dispose d'une marge sur la distance de l'épreuve à vélo et d'une liberté totale sur son parcours (plus ou moins de dénivelé notamment), c'est un des facteurs majeurs du temps à l'arrivée. En cas de format criterium, les sportifs sont autorisés à rouler en groupe et à profiter de l'aspiration, mais les prolongateurs sont interdits. Sur le format CLM, l'aspiration est interdite, mais les prolongateurs sont autorisés. S'ajoutent à cela les nombreuses règles de sécurité, notamment vis-à-vis du code de la route, puisque cette dernière est rarement totalement fermée sur les épreuves locales. La distance en course à pied varie selon le format, mais les organisateurs disposent de moins de marge d'erreur vis-à-vis de la distance officielle. Le parcours peut se réaliser en ligne (deux points distincts), en une boucle ou en plusieurs boucles.

1.2 La course à pied en triathlon

L'épreuve de course à pied en triathlon possède la particularité d'être effectuée en dernière, ce qui sous-tend une fatigue provoquée par les deux disciplines qui la précèdent. De plus, la course à pied est le seul des 3 sports avec un contact direct au sol, le seul induisant des chocs répétés. C'est un élément très régulièrement soulevé par les pratiquants comme une difficulté.

Il est intéressant de s'interroger sur l'importance de la course à pied sur la performance globale en triathlon, et c'est le but de la recherche de Sousa et al. (2021). Cette étude nous démontre que le poids de la course à pied dans la performance varie selon le format du triathlon. En effet, pour les distances sprint et olympique c'est le facteur selon cette étude qui recueille le moins d'importance (0,2) alors qu'il obtient une importance modérée sur Ironman 70.3 (0,35) et c'est le facteur le plus important sur Ironman (0,55). Plus la distance est importante, plus la course à pied est un facteur de performance important. En termes de temps par rapport à l'effort total la course à pied représente au minimum 30% du temps jusqu'à 35%. Ce pourcentage augmente lui aussi avec la distance et ce quel que soit le sexe des participants (Sousa & al., 2021). Au global, on remarque donc que la partie course à pied a un poids non négligeable quel que soit la distance et qu'elle est capitale pour ceux s'alignant sur Ironman. Cela nous amène à penser que l'optimisation des méthodes d'entraînement et de course à pied est primordiale pour un nombre important de triathlètes.

1.3 Demandes physiologiques de l'exercice

Le triathlon est un sport d'endurance (Bentley & al, 2002) qui, par conséquent, induit une demande physiologique dans les 3 disciplines qui le composent. L'intensité à laquelle est parcouru un triathlon varie selon de nombreux facteurs, et ce, dans les 3 disciplines (Bentley et al., 2002). En course à pied, l'intensité est régulée par la fatigue induite lors des deux premières parties ; on observe une augmentation de la fréquence cardiaque et de la consommation d'oxygène sur cette partie qui peut s'expliquer par la fatigue accumulée. Au global, la demande énergétique au cours d'un triathlon fluctue selon un nombre important de facteurs, mais il est possible d'affirmer logiquement que plus le format est long, plus l'intensité est modérée (Bentley et al., 2002).

L'exercice en endurance induit une demande énergétique. L'article de Jones et Poole (2008) décrit 4 facteurs majeurs de performance en endurance : le débit maximal d'oxygène (VO₂max), l'économie de course, la fraction de la VO₂max soutenable et la cinétique de VO₂. La VO₂max élevée est soulignée par Bentley & al. (2002). D'après Borrego-Sanchez & al. (2021), la VO₂max reste à ce

jour un prédictateur fiable de la performance en triathlon. Les triathlètes élite ont des VO₂max plus élevées que les triathlètes amateurs : l'étude de Hue & al. (2000) a enregistré une VO₂max moyenne de 69,1ml/min/kg (+-7,2) pour les triathlètes amateurs contre 75,2 ml/min/kg (+-5,2) pour les élites. Avoir une VO₂max élevée induit que le sportif est capable de faire un effort sous-maximal avec un pourcentage plus faible de la VO₂max, ce qui représente un avantage. L'entraînement peut avoir pour but de développer la VO₂max, mais celle-ci tend à se stabiliser chez les athlètes de haut niveau, ce qui met en évidence le rôle majeur des autres facteurs de performance. D'après Millet & al. (2009) : « L'économie de course peut être définie par le VO₂ (en mL/kg/min) de la course à une certaine vitesse, et est généralement exprimée par le coût énergétique (CE) de la course sur une distance de 1 km (en mL/kg/km), calculé comme suit : le VO₂ divisé par la vitesse. Il est connu que les facteurs génétiques, physiologiques et anthropométriques induits par l'entraînement influencent l'économie. ». La capacité à soutenir une fraction élevée de la VO₂max est un facteur essentiel de la performance dans les épreuves d'endurance (Jones & Poole, 2008) de moyenne et longue durée comme le triathlon. La cinétique de la VO₂ fait référence à la vitesse à laquelle la consommation d'oxygène s'adapte au début de l'exercice (Jones & Poole, 2008). Une cinétique de VO₂ rapide signifie que la VO₂ atteint son état stable plus rapidement, réduisant ainsi le déficit en oxygène initial. Au début de l'exercice, il existe une réponse coordonnée des systèmes pulmonaire, cardiovasculaire et musculaire pour augmenter l'apport d'oxygène (Jones & Poole, 2008). Une augmentation rapide du débit cardiaque et de la ventilation permet d'oxygéner les muscles contractés. Au début de l'exercice, l'apport en O₂ peut dépasser les besoins des muscles, mais la cinétique de la VO₂ est limitée par l'inertie des enzymes oxydatives et non par l'apport en O₂. Les athlètes avec une cinétique de VO₂ rapide ont un avantage distinct sur ceux qui ont une réponse plus lente. Un déficit en O₂ plus faible réduit l'activation de la glycolyse et permet de préserver les réserves de glycogène (Jones & Poole, 2008).

Au cours d'un triathlon simulé, il a été démontré que la capacité d'endurance des athlètes est altérée après les deux premières épreuves (natation et cyclisme), avec une diminution significative du seuil ventilatoire (VT). La VO₂ mesurée à ce seuil passe de 58,2 ± 6,4 ml/min/kg à 51,1 ± 6,5 ml/min/kg ($p < 0,01$), et la fréquence cardiaque correspondante diminue également (de 163,5 ± 6,8 bpm à 156,1 ± 8,1 bpm ; $p < 0,05$). De plus, l'intensité relative à laquelle est atteint ce seuil diminue de 84,6 ± 2,4 % à 74,3 ± 2,7 % de la VO₂max ($p < 0,01$), ce qui témoigne d'une réduction de la performance aérobie submaximale après les premières disciplines du triathlon (De Vito et al., 1994). Une autre étude (Olcina & al., 2019) met en évidence l'impact du cyclisme sur la course à pied. Après la partie cyclisme, on observe chez les triathlètes une saturation en oxygène musculaire (SmO₂) plus élevée

pendant la course à pied que lors d'une course isolée. Les auteurs expliquent qu'une $\dot{V}O_2$ plus élevée suggère une incapacité à utiliser efficacement l'oxygène dans les muscles, ce qui pourrait être dû à la fatigue neuromusculaire accumulée pendant le cyclisme. De plus, on note que la longueur de la foulée est impactée négativement après le cyclisme, ce qui peut s'expliquer par une adaptation à la fatigue musculaire. Cependant, d'autres paramètres biomécaniques, tels que la cadence, l'oscillation verticale et le temps de contact au sol, ne semblent pas être affectés par le cyclisme préalable (Olcina & al., 2019). En résumé, les facteurs physiologiques évoluent de manière défavorable lors d'un triathlon, avec une diminution de la capacité d'endurance, une altération de la saturation en oxygène musculaire et une réduction de la longueur de la foulée. Ces changements ont un impact négatif sur la performance en course à pied.

1.4 L'entraînement en endurance

1.4.1 Exercice intermittent ou continu

Parmi les premières interrogations sur les méthodes d'entraînement en endurance, la question s'est posée de comparer l'entraînement continu et l'entraînement intermittent (ou par intervalles). L'étude de Tabata et al. (1996) a exploré l'effet d'un entraînement en endurance basé sur un effort continu à intensité modérée (70% de la $\dot{V}O_{2max}$). Ils ont démontré qu'il y a une amélioration significative après 6 semaines d'entraînement de la $\dot{V}O_{2max}$: de 53 ± 5 ml/kg/min à 58 ± 3 ml/kg/min. D'autres études (Baquet et al., 2001) démontrent également que l'entraînement continu à intensité sous-maximale permet des gains en $\dot{V}O_{2max}$, et ce sur des publics variés. Cependant, ces études précisent que les conditions de l'exercice (intensité et durée) ne permettent pas d'atteindre des pourcentages élevés de $\dot{V}O_{2max}$. L'étude de Tabata et al. (1996) a aussi démontré qu'une activité supra-maximale (HIIT) avec 7 à 8 séries de 20 secondes avec 10 secondes de repos et se pratiquant 5 fois par semaine pendant 6 semaines permet une amélioration significative de la $\dot{V}O_{2max}$ de 7 ml/min/kg. D'autres études mentionnent que les protocoles HIIT qui atteignent la $\dot{V}O_{2max}$ ou un pourcentage élevé de celle-ci sollicitent fortement les systèmes de transport et d'utilisation de l'oxygène, offrant ainsi le stimulus le plus efficace pour améliorer la $\dot{V}O_{2max}$ (Buchheit & Laursen, 2013). Il apparaît aussi que l'entraînement en HIIT permet des gains sur les performances anaérobies contrairement à un entraînement continu à intensité modérée. Les données provenant d'athlètes de haut niveau suggèrent que les intervalles longs et/ou les intervalles courts avec un ratio travail/repos supérieur ou égal à 1 permettent d'obtenir un meilleur ratio entre le temps à $\dot{V}O_{2max}$ et le temps d'exercice pendant les

séances de HIIT (Buchheit & Laursen, 2013). Ces mêmes travaux de recherche démontrent que la durée des intervalles doit être d'au moins 2 ou 3 minutes pour atteindre la VO₂max et qu'il est recommandé d'ajuster cette durée en fonction du niveau d'entraînement du sportif (Buchheit & Laursen, 2013). La récupération qui permet le plus de gain est une récupération active entre les séries à une intensité entre 50% et 65% de la VO₂max pour favoriser une meilleure contribution du métabolisme aérobie (Buchheit & Laursen, 2013).

En ce qui concerne l'intensité la plus adaptée, les sources indiquent que pour des gains optimaux de VO₂max, il est important de s'entraîner à des intensités élevées. Les gains les plus importants semblent être obtenus entre 90% et 100% de la VO₂max (Billat et al., 1999; Baquet et al., 2001; Gormley et al., 2008). Ces résultats s'expliquent tout d'abord par un recrutement plus important des fibres musculaires de type II, qui sont primordiales pour les adaptations musculaires et cardiovasculaires qui permettent une amélioration de la VO₂max. Travailler à ces hautes intensités permet aussi une sollicitation maximale des systèmes de transport et d'utilisation de l'oxygène (Buchheit et al., 2013). Un débit cardiaque élevé est aussi atteint en travaillant à ces intensités, qui permettent des améliorations du fonctionnement du cœur favorisant l'amélioration de la VO₂max (Buchheit et al., 2013). Ainsi, l'entraînement en HIIT grâce aux alternances de périodes de travail à haute intensité et de repos permet un temps de travail effectif plus important que l'exercice continu. Et in fine, l'entraînement par intervalles permet de passer plus de temps au-delà de 90% de VO₂max. Les études ont montré que des intensités de travail comprises entre 100 % et 120 % de la vitesse associée à VO₂max sont efficaces pour atteindre un temps maximal à la VO₂max. Les recherches ont démontré que des intensités légèrement plus élevées (environ 105 % de la vitesse à VO₂max) permettent un meilleur temps passé à VO₂max qu'à des vitesses de course plus élevées (110-140 % de la vitesse à VO₂max) (Wakefield & Glaister, 2009). Toutefois, les auteurs précisent que l'intensité doit être individualisée avec la vitesse ou la puissance à la VO₂max pour indiquer les intensités de travail. La durée. La durée des intervalles doit être suffisamment longue pour atteindre la VO₂max et provoquer des adaptations : 2 à 3 minutes sont nécessaires pour un travail minimum. Une récupération active doit être privilégiée avec un ratio supérieur ou égal à 1 pour favoriser un temps à VO₂max important. (Wakefield & Glaister, 2009).

1.4.2 Types d'exercices par intervalles

Ayant démontré l'importance du temps passé à hautes intensités, nous nous concentrons désormais sur les différents exercices par intervalles qui peuvent exister et les principes physiologiques

qui les accompagnent. Les exercices HIIT peuvent être composés de 3 types d'intervalles : courts, longs et mixtes.

Les intervalles longs ont une durée allant de 2 à 10 minutes par intervalle, avec une intensité comprise entre 90 et 100% de la VO₂max. Certains athlètes très entraînés peuvent aller au-delà de la vitesse associée à 100% de VO₂max sur ces intervalles. Les intervalles longs sollicitent fortement le système cardiovasculaire en augmentant le volume d'éjection systolique (VES), la FC et la capacité de transport de l'oxygène (Stoggl et al., 2024). Ce type d'intervalle stimule la génèse mitochondriale, améliorant ainsi la capacité du muscle à produire de l'énergie via la filière aérobie. Ce type d'entraînement favorise aussi l'augmentation des enzymes oxydatives dans les muscles, permettant une meilleure utilisation de l'oxygène comme substrat énergétique (Stoggl et al., 2024). Les intervalles courts sont généralement de 15 à 60 secondes par intervalle. L'intensité est presque la même que celle des intervalles longs allant de 90% de VMA à 120% de VMA. Ces intervalles permettent de solliciter les fibres musculaires de manière intense, menant à des adaptations neuromusculaires et à une augmentation de la puissance aérobie. Bien que la durée des intervalles soit courte, la répétition de ceux-ci stimule le système cardiovasculaire de manière significative, entraînant des améliorations de la VO₂max et de la capacité aérobie (Coates & al, 2023). Cela permet également de maintenir une fraction élevée de la VO₂max pendant une durée plus longue que les intervalles continus à intensité similaire. Les intervalles courts permettent d'atteindre des intensités plus élevées que les intervalles longs en raison de la courte durée (Coates & al, 2023).

Les intervalles mixtes sont une combinaison de durées d'intervalles comme les schémas pyramidaux. Il est possible de faire varier l'intensité au cœur des intervalles avec ce format. L'objectif est de maximiser le temps passé à une fraction élevée de VO₂max en ajustant l'intensité de l'effort selon sa durée. Les intervalles mixtes peuvent solliciter différemment les systèmes énergétiques en induisant des cinétiques de VO₂ différentes selon les intervalles. En provoquant ces variations d'intensité, ce type d'intervalle sert également à améliorer la capacité de l'athlète à maintenir une intensité élevée plus longtemps et à résister à la fatigue (Molmenn & Ronnestad, 2024). Parmi ces stratégies mixtes, il est possible de catégoriser la stratégie du « fast start », qui consiste à effectuer une partie de l'intervalle à une intensité élevée puis à continuer à une intensité moins élevée mais toujours soutenue. L'objectif de cette approche est d'accélérer la réponse de VO₂, réduisant ainsi le temps nécessaire pour atteindre la VO₂max, et d'augmenter la tolérance à l'exercice pour prolonger le temps passé près de la VO₂max après une légère diminution de l'intensité. Il apparaît alors que le temps au-

dessus de 95% de VO₂max est significativement plus élevé que les autres méthodes observées. La stratégie de Fast Start a accéléré la cinétique de VO₂ (Aguiar et al., 2013).

Pour faire un bilan des différentes stratégies, il est aujourd'hui difficile d'affirmer avec précision quelle stratégie est la meilleure pour améliorer le système aérobie et les performances en endurance puisqu'il existe encore de nombreux débats et contradictions dans la littérature (Stoggl & al., 2024). En effet, certaines études ont démontré des gains plus importants en endurance avec des intervalles plutôt longs (Astrand et al., 1960 ; Wen et al., 2019). Là où d'autres études obtiennent de meilleurs résultats avec des intervalles plus courts (Rønnestad et al., 2020).

1.5 Spécificité du HIDIT

Ces dernières années, une stratégie d'entraînement consistant à utiliser des intervalles à durée dégressive a fait son apparition chez les sportifs d'endurance. La stratégie HIDIT se caractérise par des intervalles de travail de haute intensité dont la durée diminue progressivement, couplés à des intervalles de récupération de faible intensité dont la durée diminue également. L'étude de Vaccari et al. (2020) a étudié le temps passé au-delà de 90% de VO₂max sur un protocole d'entraînement HIDIT. Il apparaît alors qu'un protocole de ce type permet un temps au-dessus de 90% de VO₂ accru par rapport aux protocoles HIIT longs et courts (voir Figure 1).

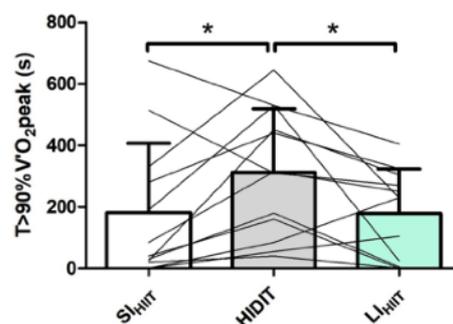


Figure 1 Temps au dessus de 90% de VO₂max en secondes. SIHIIT (Short Intervals HIIT); LIHIIT (Long Intervals HIIT) *Issu de Vaccari & al, 2020*

Il apparaît de plus que le protocole HIDIT ne modifie pas le temps jusqu'à épuisement à VO₂max (Tlim), ni la concentration de lactate sanguin, ni la perception de l'effort à l'épuisement. Les longs intervalles au début de l'entraînement entraînent une stimulation métabolique plus rapide qui provoque des valeurs plus importantes de VO₂, de FC et de RPE après 3 minutes d'effort par rapport aux intervalles HIIT courts (SIHIIT). La moyenne de VO₂ maintenue tout au long de l'exercice HIDIT est plus élevée que lors de l'exercice HIIT avec de longs intervalles (LIHIIT). Au cours des exercices, les participants ont donné des valeurs de RPE similaires dans les 3 types d'exercice, ce qui sous-tend qu'un protocole HIDIT permettrait des gains plus importants sans être perçu comme plus dur. En résumé, le protocole HIDIT offre un moyen efficace pour augmenter le temps passé proche de la VO₂max pendant un entraînement HIIT, sans augmenter l'effort perçu ou réduire la performance à l'épuisement. En combinant les avantages des protocoles HIIT avec des intervalles longs et courts, le protocole HIDIT peut être une stratégie d'entraînement intéressante pour améliorer la performance aérobie.

2. Problématique

Dans cette étude, nous cherchons à comparer l'efficacité des méthodes d'entraînement HIIT et HIDIT. Pour cela, nous souhaitons savoir si le fait de passer plus de temps au-dessus de 90% de la VMA avec le protocole HIDIT permet d'effectuer des gains sur les performances aérobies en course à pied.

L'entraînement par intervalles dégressifs HIDIT permet-il de meilleurs gains sur les performances par rapport à l'entraînement par intervalles HIIT en course à pied chez des jeunes triathlètes ?

3. Objectifs

Par le biais de cette question, nous cherchons à démontrer si cette méthode d'entraînement, qui permet d'améliorer le temps passé au-dessus de 90% de la VMA, permet par conséquent d'améliorer les performances en course à pied. Nous cherchons à évaluer si effectuer des intervalles en HIDIT permet de meilleurs gains sur les performances aérobies que les intervalles HIIT. Pour cela, nous observons l'évolution des performances sur le test Léger-Boucher.

4. Hypothèse

Nous émettons l’hypothèse que les intervalles dégressifs HIDIT permettent bel et bien d’améliorer les performances en course à pied et ce de manière significativement supérieure à un entraînement HIIT. En effet, nous pensons que les bénéfices gagnés en temps au-dessus de 90% de VO2max vont bel et bien permettre des améliorations significatives par rapport à des intervalles HIIT.

H0 : L’entraînement HIDIT ne permet pas de gains significativement supérieurs en VMA par rapport à l’entraînement HIIT.

H1 : L’entraînement HIDIT permet des gains significativement supérieurs en VMA par rapport à l’entraînement HIIT

5. Méthode

5.1 Milieu professionnel

Cette étude s’est déroulée au sein du Villeneuve d’Ascq Triathlon qui est une association loi 1901 créée en 2007 et qui a pour objet d’encadrer et de favoriser la pratique du triathlon et des disciplines enchainées. Le club est affilié à la FFTri. L’ensemble des participants à ce mémoire sont licenciés du Villeneuve d’Ascq Triathlon.

5.2 Matériel et méthode

Pour mener cette étude, un groupe de 19 jeunes triathlètes du Villeneuve D’Ascq Triathlon et de la section triathlon du collège Molière de Villeneuve D’Ascq a été sélectionné. Les participants sont âgés de 12 à 15 ans et leurs données anthropométriques sont disponibles dans les tableaux 4 et 5. Les participants ont un niveau allant du débutant au niveau régional. Ils s’entraînaient entre 3 et 9 fois par semaine et dans les 3 sports. Il n’a pas été possible que l’ensemble des participants ait la même charge d’entraînement sur toute la période. Cependant les séances d’entraînement spécifique à leur groupe ont été les seules séances à cette intensité durant toute la période du protocole. Pour être considéré comme participant à la fin de l’étude, chacun d’entre eux a dû effectuer toutes les séances d’entraînements du protocole et ne déclarer aucune blessure nécessitant l’arrêt de la pratique sur la période d’entraînement.

Tableau 4 : Données anthropométriques de groupe

	Taille (cm)	Masse (kg)	Age
Médiane	153.0	40.0	14.0
Moyenne	154.2	41.2	13.4
Écart type	11.3	9.0	1.2
Minimum	140.0	30.7	12.0
Maximum	178.0	64.6	15.0

Tableau 5 : Données anthropométriques selon le groupe

	Taille (cm)		Masse (kg)		Age	
	HIDIT	HIIT	HIDIT	HIIT	HIDIT	HIIT
Médiane	153.0	155.0	40.0	38.7	14.0	14.0
Moyenne	153.7	154.6	41.5	41.0	13.3	13.4
Écart type	12.7	10.6	9.9	8.7	1.1	1.3
Minimum	140.0	141.0	30.7	30.7	12.0	12.0
Maximum	178.0	168.0	64.6	53.4	15.0	15.0

Le testing choisi pour le protocole est le test Léger-Boucher (Léger & Boucher,1980), qui est un test progressif de terrain utilisé pour estimer la VMA (vitesse maximale aérobie). Le test débute à une vitesse faible de 8 km/h, et la vitesse augmente de 1 km/h toutes les 2 minutes, de manière continue, sans pause entre les paliers. Le rythme est régulé par des bips sonores permettant aux participants de se synchroniser avec une distance précise à chaque signal. Le test se poursuit jusqu'à épuisement, c'est-à-dire lorsque le coureur n'est plus en mesure de suivre le rythme imposé. Le dernier demi-palier complété (c'est à dire une minute au minimum) est validé comme étant la VMA du coureur. Ce test sera effectué avant et après la période d'entraînement. Le test a été réalisé sur une piste d'athlétisme de 400m pour obtenir les distances les plus précises possibles. Il a été demandé aux participants de donner une perception de l'effort sur une échelle RPE (Borg,1998). Le choix de ce test s'explique par la facilité de réalisation : puisque l'allure est dictée par le son et les repères au sol, il n'y a pas de gestion de l'effort à avoir, ce qui augmente la fiabilité. De plus ce test est celui effectué par les jeunes triathlètes du club dans le cadre de leur entraînement. Dans un souci de praticité et de familiarité des participants nous avons choisi ce test.

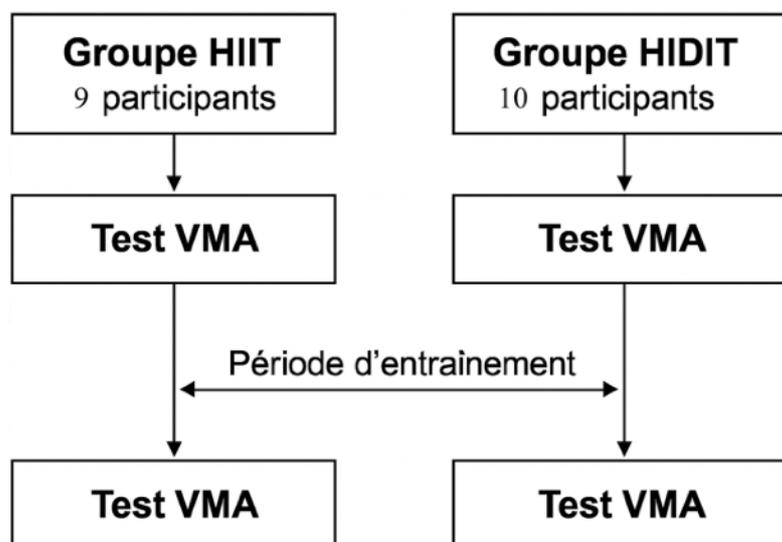


Figure 2 : schéma récapitulatif du protocole

Les participants sont divisés en deux groupes : un groupe contrôle (HIIT) de 9 participants et un groupe expérimental (HIDIT) de 10 participants. Les groupes ont été constitués après le premier test de façon à répartir les participants selon leur VMA et obtenir des groupes les plus homogènes possibles. Aucune considération de leur âge ou de leur sexe n'a été faite, la VMA était le seul critère de répartition. Le groupe contrôle a réalisé une période d'entraînement de 4 semaines en course à pied exclusivement avec des intervalles HIIT. Le groupe expérimental a lui aussi réalisé une période d'entraînement de 4 semaines avec des intervalles HIDIT uniquement. À chaque entraînement, les échauffements sont communs ainsi que les temps de récupération entre les séries. Les temps de travail ainsi que les intensités demandées à chaque entraînement sont identiques pour les deux groupes. C'est-à-dire que si le groupe contrôle effectue 3 fois 5 minutes avec des intervalles de 30 secondes à 100% de VMA, le groupe expérimental se verra attribuer un travail équivalent en temps et en intensité (cf fig.2). Les entraînements étaient composés de 2 à 3 blocs d'intervalles pour les 2 groupes avec des temps de travail allant de 8 minutes à 13 minutes 30 secondes. L'intensité prescrite était comprise entre 90% et 100% de la VMA mesurée lors du test initial. Au cours de la période le temps de travail a été augmenté progressivement. Le ratio travail-récupération était identique à celui de l'étude de Vaccari & al. (2020) pour le groupe HIDIT, c'est à dire 2 minutes de récupération pour 3 minutes d'efforts. Pour le groupe HIIT le temps de récupération était identique au temps de travail, c'est à dire 30 secondes de récupération pour 30 secondes d'effort. L'ensemble des séances est disponible en annexe (cf Tableau 13). La fréquence cardiaque a été recueillie chez certains participants afin de contrôler que la prescription des intensités était bien respectée. Pour ceux ayant le matériel adéquat, les allures à tenir leur ont été communiquées ainsi que les temps. Pour les autres le temps et la distance à parcourir leur ont été donnés afin de respecter la vitesse à atteindre.

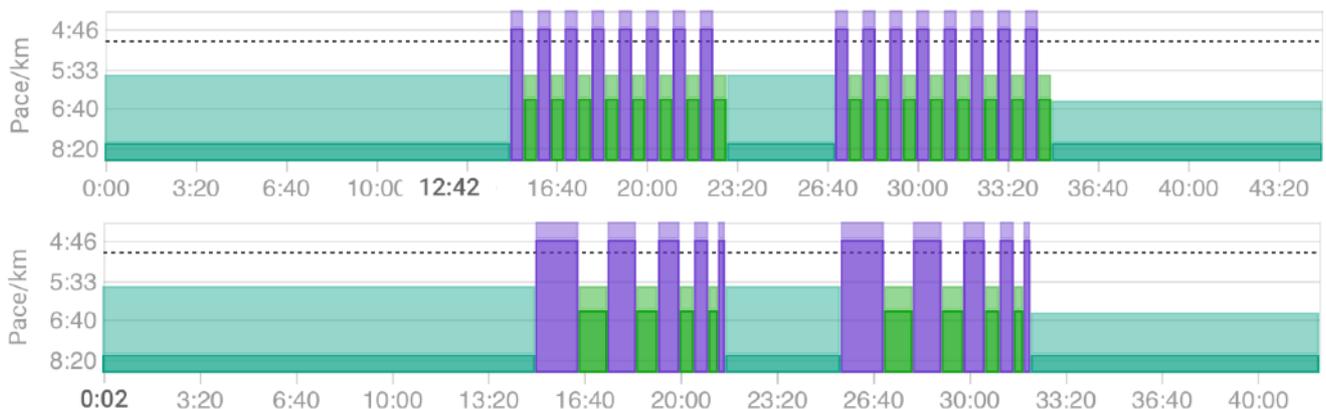


Figure 3 : exemples de séance d'entraînement

5.3. Analyse des résultats

A l'issue du test Léger-Boucher nous déduisons la VMA de chacun des participants en recueillant le dernier demi-palier complété. La FC a été mesurée chez certains participants pendant les tests. Une mesure du RPE à l'issue du test a été effectuée afin de vérifier les critères de maximalité.

Nous comparerons donc l'évolution de la VMA au sein de chaque groupe pour évaluer la présence d'améliorations significatives après la période d'entraînement. Puis nous comparerons les écarts entre les groupes avant et après la période d'entraînement pour évaluer une éventuelle différence significative.

6. Traitement statistique

Pour analyser les données recueillies au cours des tests, nous avons recueilli les données à l'aide d'Excel, puis nous avons effectué des tests statistiques à l'aide du logiciel JASP. Nous avons calculé dans un premier temps les moyennes et écarts types de chacun des groupes pour l'ensemble des tests.

Nous avons vérifié la normalité des distributions à l'aide du test de Shapiro & Wilk ainsi que l'homogénéité des variances à l'aide du test de Levene. Les résultats de ces deux tests se sont révélés positifs (normalité : $p=0,054$ pour le test initial et $p= 0,434$ pour le test final) (homogénéité : $p=0,33$ et $0,38$ pour le groupe HIDIT et $p=0,11$ et $0,62$ pour le groupe HIIT). Dans un premier temps nous avons fait un test student pour évaluer la progression du groupe entier. Puis de nouveau un test student pour évaluer la différence au sein de chaque groupe. Enfin nous avons fait une ANOVA à 2 voies (groupe et temps) pour comparer l'évolution des deux groupes. Pour l'ensemble des tests, un $p < \text{ou} = 0,05$ a été accepté comme niveau de signification statistique. Pour savoir si la VMA initiale impactait la progression, une corrélation de Spearman a été faite.

7. Résultats

Tableau 6 : Résultats selon le groupe

	VMA INITIALE		VMA FINALE	
	HIDIT	HIIT	HIDIT	HIIT
Médiane	15.0	14.3	15.5	15.3
Moyenne	15.2	14.8	15.5	15.3
Écart type	1.7	1.7	1.6	1.7
Minimum	13.0	13.0	12.0	12.5
Maximum	17.5	17.5	17.5	18.0

La VMA initiale du groupe HIDIT était de 15,2 contre 14,8 pour le groupe HIIT. La VMA finale du groupe HIDIT est de 15,5 et de 15,3 pour le groupe HIIT. On observe donc une augmentation moyenne de 0,3 pour le groupe HIDIT et de 0,5 pour le groupe HIIT (cf. Figure 4). L'écart type est de 1,7 pour la VMA initiale du groupe HIDIT et elle est de 1,6 pour la VMA finale. Pour le groupe HIIT l'écart type est identique entre les deux tests avec 1,7. Il n'y a pas de différences significatives entre les deux groupes sur leur VMA initiale (test student, $p = 0,64$). Il n'y a pas non plus de différences significatives entre les VMA finales des deux groupes (test student, $p = 0,79$). On observe donc une augmentation des moyennes pour les deux groupes (HIIT et HIDIT) : $14,8 < 15,3$; $15,2 < 15,5$. C'est le cas aussi pour les médianes : $15 < 15,5$ (HIDIT); $14,3 < 15,3$ (HIIT).

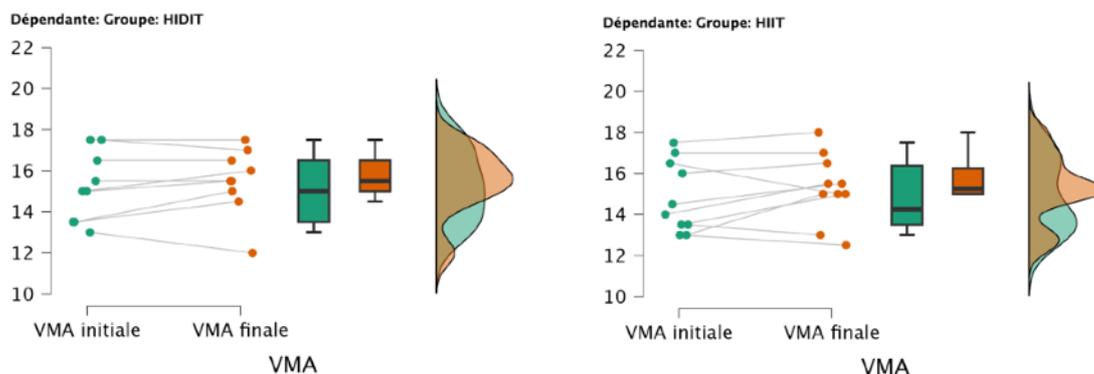


Figure 4 : comparaison avec résultats individuels, médianes et dispersion selon le groupe (HIDIT et HIIT)

En observant la dispersion de manière graphique, on note que les individus avec les valeurs de VMA initiale les plus faibles semblent ceux qui ont le plus progressé (cf. Figure 3). Les individus les plus forts semblent eux avoir eu plus de mal à progresser. En effet, si on étudie les quartiles, on observe que le groupe HIDIT avait un Q1 initial de 13,5 et a un Q1 final de 15, idem pour le groupe HIIT. A l'inverse on note que le groupe HIDIT possède un Q3 à 16,5 pour la VMA finale et initiale, le groupe HIIT possède lui un Q3 à 16,25 pour les deux tests également.

Tableau 7 : test t student pour le groupe HIDIT

Test t à deux échantillons appariés

Measure 1	Measure 2	t	ddl	p
VMA INITIALE	- VMA FINALE	-1.05	8	0.16

Note. Pour tous les tests, l'hypothèse alternative précise que VMA INITIALE est moins que VMA FINALE.

Note. Test t de Student.

Tableau 8 : test t student pour le groupe HIIT

Test t à deux échantillons appariés

Measure 1	Measure 2	t	ddl	p
VMA INITIALE	- VMA FINALE	-1.30	9	0.11

Note. Pour tous les tests, l'hypothèse alternative précise que VMA INITIALE est moins que VMA FINALE.

Note. Test t de Student.

Pour établir si nous observons une amélioration dans les groupes nous avons d'abord réalisé un test de student pour chacun des groupes de manière distincte. Il s'avère que le groupe HIDIT ne présente pas d'amélioration significative ($p = 0,16$) (cf. Tableau 7) et que le groupe HIIT non plus ($P = 0,11$) (cf. Tableau 8).

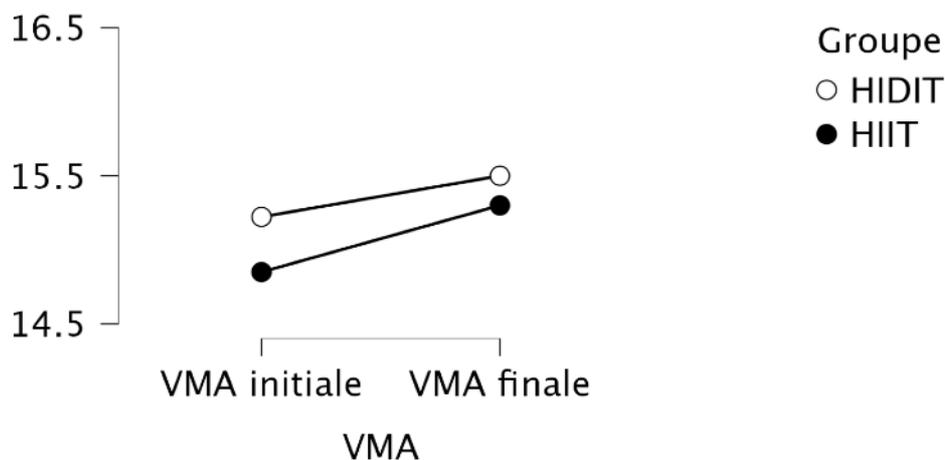


Figure 5 : comparaison des moyennes selon le groupe pour les VMA initiales et finales

L'ANOVA à mesures répétées vient confirmer les tests student qui avaient établis qu'il n'y avait pas de différence de VMA significative entre les deux groupes avec une interaction VMA-Groupe qui donne un $p = 0,7$ (cf. Tableau 9). Pour le groupe entier on remarque qu'il n'y a pas de différence significative entre la VMA initiale et la VMA finale ($p=0,11$). Enfin l'interaction Temps-Groupe avec un $p = 0,7$ nous démontre qu'il n'y a pas de différence de progression entre les deux groupes.

Tableau 9 : ANOVA à mesures répétées (Groupe et temps)

Effets intra-sujets

Cas	Somme des carrés	dl	Moyenne des carrés	F	p
VMA	1.254	1	1.254	2.703	0.119
VMA * Groupe	0.070	1	0.070	0.151	0.702
Residuals	7.890	17	0.464		

Note. Somme des carrés de type III

Effets Inter-sujets

Cas	Somme des carrés	dl	Moyenne des carrés	F	p
Groupe	0.776	1	0.776	0.149	0.704
Residuals	88.290	17	5.194		

Note. Somme des carrés de type III

Une corrélation de Pearson a été réalisée entre la VMA initiale et le gain de VMA. Une tendance à la corrélation négative a été observée ($r = -0,36$; $p = 0,07$, unilatéral), suggérant que les individus ayant une VMA plus faible au départ ont potentiellement montré une amélioration plus importante. Bien que cette tendance soit proche du seuil de signification, elle ne permet pas de conclure à une relation statistiquement significative. Les données ont été filtrées par groupes pour évaluer si dans l'un des deux groupes la corrélation était significative. Pour le groupe HIIT le R de Pearson est de $-0,37$ et le $p = 0,15$ (cf. Tableau 11). Pour le groupe HIDIT $r = -0,33$ et $p = 0,19$ (cf. Tableau 12). Dans les deux cas la corrélation n'est pas statistiquement significative.

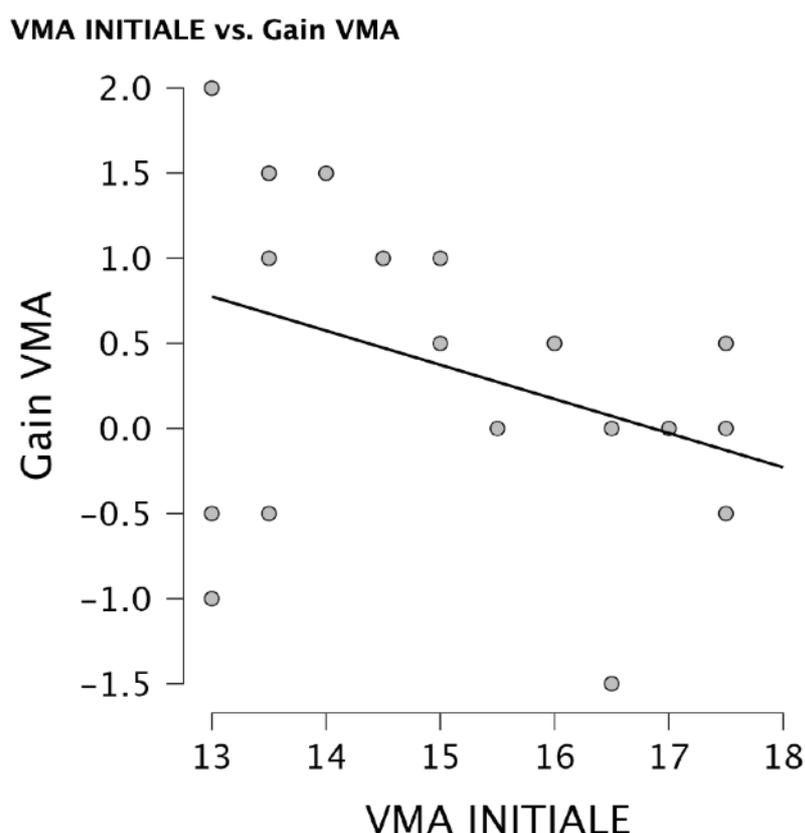


Figure 6: graphique de la corrélation de Pearson (VMA initiale - Gain VMA), groupe entier

Tableau 10 : *Corrélation de Pearson entre la VMA initiale et les gains de VMA pour le groupe entier*

Corrélations de Pearson

			R de Pearson	p
VMA INITIALE	-	Gain VMA	-0.36	0.07

Note. Tous les tests unilatéraux, pour une corrélation négative.
* p < .05, ** p < .01, *** p < .001, unilatéral

Tableau 11 : *corrélacion de Pearson (VMA initiale, gain VMA), groupe HIIT*

Corrélations de Pearson

			R de Pearson	p
VMA INITIALE	-	Gain VMA	-0.37	0.15

Note. Tous les tests unilatéraux, pour une corrélation négative.
* p < .05, ** p < .01, *** p < .001, unilatéral

Tableau 12 : *corrélacion de Pearson (VMA initiale, gain VMA), groupe HDIIT*

Corrélations de Pearson

			R de Pearson	p
VMA INITIALE	-	Gain VMA	-0.33	0.19

Note. Tous les tests unilatéraux, pour une corrélation négative.
* p < .05, ** p < .01, *** p < .001, unilatéral

8. Discussion

Avant de s'intéresser aux résultats, il me paraît nécessaire de faire un bilan sur les participants. Au delà de leurs qualités physiques et de leur niveau qui s'expriment via la VMA dans cette étude, il existe des écarts de charge d'entraînement importants. En effet, si ils sont tous licenciés du Villeneuve d'Ascq Triathlon cela ne veut pas dire qu'ils s'entraînent de la même façon. Aucune séance n'étant obligatoire certains s'entraînent 7 à 9 fois par semaine dans les 3 sports alors que d'autres s'entraînent 3 fois par semaine. De plus, certains d'entre eux ont déjà un entraînement structuré et ont donc été exposés à des types de sollicitations très variés dont certaines similaires à cette étude. A l'inverse, d'autres participants n'ont que peu d'ancienneté et ne sont pas suivis de la même manière. Par conséquent ils n'ont pour certains jamais vécu de séances comme celles de l'étude avec une intensité prescrite et des intervalles stricts à respecter.

Maintenant que ce point est fait, nous pouvons discuter des résultats. Tout d'abord on n'observe pas de progression significative de la VMA pour le groupe dans son intégralité. Ce résultat est le même lorsqu'on observe les groupes HIIT et HIDIT séparément. Ce résultat peut s'expliquer tout d'abord par la durée de l'étude : quand bien même certains auteurs ont démontré une amélioration de la VMA et de la VO₂max avec des protocoles de 4 semaines (Smith & al., 1999) il apparaît que ce délai reste court pour observer des adaptations. En effet, la méta-analyse de Wen & al.(2019) recommande un protocole allant de 4 à 12 semaines pour obtenir des améliorations significatives de VO₂max. Si nos résultats ne sont pas significatifs on observe une tendance globale pour les deux groupes à l'augmentation (cf. Figure 4). Par conséquent il serait intéressant de proposer une étude sur une plus longue durée qui permettrait de déterminer si après les 4 semaines on peut observer une progression significative des groupes.

Nous n'observons pas non plus de différences significatives entre les deux groupes. Là encore, la durée de l'étude nous limite dans nos conclusions. Quand bien même, quel que soit le groupe la tendance est l'augmentation. De plus, la méthode HIIT est une méthode reconnue et qui a démontré son effet pour améliorer la VO₂max (Buchheit & Laursen, 2013). Étant donné le type d'exercice qu'est le HIDIT que nous avons défini précédemment, il semble peu probable qu'aucune amélioration ne soit possible. En effet, comme Vaccari & al. (2020) l'ont démontré le HIDIT permet d'atteindre des pourcentages de VO₂max élevés et de les maintenir, par conséquent il semble, logique qu'une durée d'entraînement plus longue pourrait montrer plus de résultats. Il serait donc intéressant de mener une étude plus longue et avec plus de séances par semaine afin d'établir si les deux méthodes permettent

des gains identiques. Au vu de la littérature sur le HIIT (Buchheit & Laursen, 2013; Wen & al. 2019), on peut supposer qu'une progression significative aurait été observée. Pour le HIDIT la question reste ouverte car la littérature n'est pas complète sur ce sujet à ce stade.

La corrélation de Pearson n'est elle non pas significative pour démontrer que les individus ayant une VMA plus faible ont le plus progressé. Cependant la tendance de cette corrélation montre tout de même que les individus les plus faibles ont tendance à progresser plus. De plus, on observe que quel que soit le groupe cette corrélation n'est pas significative (cf. tableaux 11 et 12). La tendance apparue sur la figure 4 se confirme dans la corrélation mais n'est pas significative. On ne peut donc pas affirmer qu'une des méthodes serait plus efficace pour un certain niveau. Cela s'explique probablement une fois de plus par la durée du protocole : on peut penser qu'un temps plus important est nécessaire pour les individus ayant des VMA plus élevées. C'est ce que Joyner et Lundby (2018) ont notamment discuté en expliquant que certains individus sont moins entraînés à une certaine charge et un certain volume d'entraînement mais que dans la majorité des cas ils le deviennent avec l'augmentation de la charge. Dans notre cas, il est aussi probable qu'une seule séance à cette intensité ait aussi été trop peu pour les individus les plus entraînés et ce, quelle que soit la méthode. En effet il avait été demandé aux autres entraîneurs durant la période de ne pas proposer des intensités au dessus de 90% de la VMA en natation et au dessus de 90% de la PMA en cyclisme pour ne pas fausser les résultats. Les autres entraînements de course à pied ont été consacrés à du travail à d'autres intensités pour là encore ne pas fausser les résultats. Il n'a pas été possible d'effectuer plusieurs entraînements dans chaque méthode pour tout les participants. Ainsi l'intensité moyenne sur la semaine de certains participants a baissé durant la période du mémoire car le nombre de séances intensives a diminué. Pour observer des bénéfices sur ces sujets, il aurait probablement fallu proposer des séances supplémentaires pour que la charge d'entraînement soit suffisante à tous les participants pour observer des réels gains sur la VMA.

Cependant, vu les tendances observées qui semblent similaires ou du moins qui vont toutes deux vers une augmentation les deux types d'exercices peuvent être intéressants à intégrer dans une programmation. En effet dans les deux cas on sollicite fortement le système cardiovasculaire à des pourcentages au-dessus de 90% de VO₂max pour le HIIT et le HIDIT. Par conséquent, il semble qu'à ce stade aucune des deux méthodes ne semble plus efficace que l'autre, toutes deux ont leur place dans une programmation. En effet intégrer des intervalles HIDIT peut permettre d'apporter un stimulus différent en fonction de ce que l'athlète a déjà l'habitude de faire. Si d'autres études viennent

confirmer celles de Vaccari & al (2020, 2023) et démontrent des gains significatifs, ce type d'exercice aura alors toute sa place dans une programmation pour apporter de la variété si on ne démontre pas de gains supérieurs. Mais cette méthode peut aussi à l'avenir remplacer le HIIT dans son application actuelle si la HIDIT permet d'optimiser les gains. Il n'a pas été possible d'effectuer un test de temps limite à VMA dans ce protocole.

Enfin au vu du type d'effort plus long pour le protocole HIDIT il serait intéressant de voir si cette méthode d'entraînement permet des gains sur le Tlim. En effet le Tlim est considéré comme le temps maximal qu'un athlète est capable de parcourir à VMA (Billat & al, 1991). Ce Tlim peut varier selon le niveau d'entraînement allant de 2 à 10 minutes (Billat & al, 1999). À VMA identique c'est en partie le Tlim qui va différencier deux athlètes. Par la spécificité du HIDIT qui propose des intervalles plus longs à haute intensité il serait intéressant d'évaluer si cette méthode est plus intéressante que le HIIT pour le Tlim. Une alternance des deux méthodes pour développer à la fois la VO₂max et le Tlim serait alors pertinente.

9. Conclusion

Pour conclure, nous n'avons pas observé d'augmentation significative de la VMA après la période d'entraînement et ce pour chacun des groupes. Il n'y a pas de différences significatives de progression entre les deux groupes. La corrélation entre la VMA initiale et le gain de VMA n'est pas significative mais est négative. Au vu des limites de cette étude, notamment sur la durée de l'étude, la variabilité de l'entraînement des sujets ainsi que le volume d'entraînement à haute intensité faible on ne peut pas non plus écarter totalement l'hypothèse de meilleurs gains pour la méthode HIDIT. Des études plus complètes devront tester une durée de protocole plus longue, une charge d'entraînement plus importante et maîtrisée ainsi que plus de séances à haute intensité devront être menées avant de pouvoir affirmer avec certitude que la méthode HIDIT n'est pas significativement supérieure au HIIT. Quoi qu'il en soit, la tendance va tout de même vers une augmentation pour les deux méthodes d'entraînement. Par conséquent le HIDIT peut être un outil intéressant pour les entraîneurs afin d'apporter de la variété dans les stimulus proposés aux sportifs.

10. Bibliographie

- Aguiar, R. A. D., Turnes, T., De Oliveira Cruz, R. S., & Caputo, F. (2013). Fast-start strategy increases the time spent above 95 %VO₂max during severe-intensity intermittent running exercise. *European Journal of Applied Physiology*, *113*(4), 941-949. <https://doi.org/10.1007/s00421-012-2508-4>
- Åstrand, I., Åstrand, P.-O., Christensen, E. H., and Hedman, R. (1960). Intermittent muscular work. *Acta Physiol. Scand.* *48* (3-4), 448–453. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1960.tb01879.x>
- Baquet, G., Berthoin, S., Dupont, G., Blondel, N., Fabre, C., & van Praagh, E. (2002). Effects of high intensity intermittent training on peak VO₂ in prepubertal children. *International journal of sports medicine*, *23*(6), 439–444. <https://doi.org/10.1055/s-2002-33742>
- Bentley, D. J., Millet, G. P., Vleck, V. E., & McNaughton, L. R. (2002). Specific Aspects of Contemporary Triathlon : Implications for Physiological Analysis and Performance. *Sports Medicine*, *32*(6), 345-359. <https://doi.org/10.2165/00007256-200232060-00001>
- Billat, V., C. Hautier, J. P. Blanchi, J. Pinoteau, and J. P. Koralsztein. (1991) Evolution des paramètres cinématiques et bioénergétiques de la course au cours d'une épreuve de temps limite à vitesse maximale aérobie. *Innovation and Technology in Biology and Medicine*, *12*:89-97
- Billat, V. L., Blondel, N., & Berthoin, S. (1999). Determination of the velocity associated with the longest time to exhaustion at maximal oxygen uptake. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, *80*, 159-161. <https://doi.org/10.1007/s004210050573>
- Billat, V. L., Flechet, B., Petit, B., Muriaux, G., & Koralsztein, J.-P. (1999). Interval training at VO₂max : Effects on aerobic performance and overtraining markers: *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *31*(1), 156-163. <https://doi.org/10.1097/00005768-199901000-00024>
- Billat, V., & Koralsztein, J. P. (1996). Significance of the velocity at VO₂max. *Sports Med*, (2). <https://doi.org/10.2165/00007256-199622020-00004>
- Borg, G. (1998). Borg's perceived exertion and pain scales. *Human kinetics*. <https://psycnet.apa.org/record/1998-07179-000>

Brooks, G. A., Fahey, T. D., and White, T. P. (1996)“Exercise physiology: human bioenergetics and its application,”. Mountain View (CA): Mayfield Publishing, 191–195.

Buchheit, M., & Laursen, P. B. (2013). High-Intensity Interval Training, Solutions to the Programming Puzzle : Part I: Cardiopulmonary Emphasis. *Sports Medicine*, **43**(5), 313-338. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0029-x>

Coates, A. M., Joyner, M. J., Little, J. P., Jones, A. M., & Gibala, M. J. (2023). A Perspective on High-Intensity Interval Training for Performance and Health. *Sports Medicine*, **53**(S1), 85-96. <https://doi.org/10.1007/s40279-023-01938-6>

De Vito, G., Bernardi, M., Sproviero, E., & Figura, F. (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>

Gormley, S. E., Swain, D. P., High, R., Spina, R. J., Dowling, E. A., Kotipalli, U. S., & Gandrakota, R. (2008). Effect of Intensity of Aerobic Training on VO₂max. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, **40**(7), 1336-1343. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31816c4839>

Hue, O., Gallais, D. L., Chollet, D., & Prefaut, C. (2000). Ventilatory threshold and maximal oxygen uptake in present triathletes. *Canadian Journal of Applied Physiology*, **25**(2), 102-113. <https://doi.org/10.1139/h00-007>

Jones, A. M., & Poole, D. C. (2008). Physiological Demands of Endurance Exercise. In R. J. Maughan (Éd.), *Olympic Textbook of Science in Sport* (1re éd., p. 43-55). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781444303315.ch3>

Joyner, M. J., & Lundby, C. (2018). Concepts About V'O₂max and Trainability Are Context Dependent. *Exercise and sport sciences reviews*, **46**(3), 138–143. <https://doi.org/10.1249/JES.000000000000150>

Knechtle, B., Thuany, M., Valero, D., Villiger, E., Nikolaidis, P. T., Cuk, I., Rosemann, T., & Weiss, K. (2024). Europe has the fastest Ironman race courses and the fastest Ironman age group triathletes. *Scientific Reports*, **14**(1), 20903. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-71866-6>

Knechtle, B., Knechtle, P. and Lepers, R. (2011), Participation and performance trends in ultra-triathlons from 1985 to 2009. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, **21**: e82-e90. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01160.x>

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

Levine, B. D. (2008). : What do we know, and what do we still need to know? *The Journal of Physiology*, **586**(1), 25-34. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2007.147629>

Markus, G., Arimany, A. (2020). ITU Triathlon History. In: Migliorini, S. (eds) *Triathlon Medicine*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22357-1_1

Millet, G. P., & Bentley, D. J. (2004). The Physiological Responses to Running After Cycling in Elite Junior and Senior Triathletes. *International Journal of Sports Medicine*, **25**(3), 191-197. <https://doi.org/10.1055/s-2003-45259>

Mølmen, K. S., & Rønnestad, B. R. (2024). A narrative review exploring advances in interval training for endurance athletes. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, **49**(7), 1008-1013. <https://doi.org/10.1139/apnm-2023-0603>

Olcina, G., Perez-Sousa, M., Escobar-Alvarez, J., & Timón, R. (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>

Rønnestad, B. R., Hansen, J., Nygaard, H., and Lundby, C. (2020a). Superior performance improvements in elite cyclists following short-interval vs effort- matched long-interval training. *Scand. J. Med. Sci. Sports* **30**, 849–857. <https://doi.org/10.1111/sms.13627>

Smith, T. P.; McNAughton, L. R.; Marshall, K. J. Effects of 4-wk training using Vmax/Tmax on $\dot{V}O_2\text{max}$ and performance in athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise* **31**(6):p 892-896, June 1999. <https://doi.org/10.1097/00005768-199906000-00019>

Sousa, C. V., Aguiar, S., Olher, R. R., Cunha, R., Nikolaidis, P. T., Villiger, E., Rosemann, T., & Knechtle, B. (2021). What Is the Best Discipline to Predict Overall Triathlon Performance? An Analysis of Sprint, Olympic, Ironman® 70.3, and Ironman® 140.6. *Frontiers in Physiology*, **12**, 654552. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.654552>

Stöggel, T. L., Strepp, T., Wiesinger, H.-P., & Haller, N. (2024). A training goal-oriented categorization model of high-intensity interval training. *Frontiers in Physiology*, **15**, 1414307. <https://doi.org/10.3389/fphys.2024.1414307>

Tabata, I., Nishimura, K., Kouzaki, M., Hirai, Y., Ogita, F., Miyachi, M., & Yamamoto, K. (1996). Effects of moderate-intensity endurance and high-intensity intermittent training on anaerobic capacity and $\dot{V}O_2\text{max}$: *Medicine & Science in Sports & Exercise*, **28**(10), 1327-1330. <https://doi.org/10.1097/00005768-199610000-00018>

Vaccari, F., Giovanelli, N., & Lazzer, S. (2020). High-intensity decreasing interval training (HIDIT) increases time above 90% $\dot{V}O_2\text{peak}$. *European Journal of Applied Physiology*, **120**(11), 2397-2405. <https://doi.org/10.1007/s00421-020-04463-w>

Vaccari, F., Stafuzza, J., Giovanelli, N., & Lazzer, S. (2023). High-intensity interval training: optimizing oxygen consumption and time to exhaustion taking advantage of the exponential reconstitution behaviour of D' . *European journal of applied physiology*, **123**(1), 201–209. <https://doi.org/10.1007/s00421-022-05059-2>

Wakefield, B. R., & Glaister, M. (2009). Influence of work-interval intensity and duration on time spent at a high percentage of $\dot{V}O_2\text{max}$ during intermittent supramaximal exercise. *Journal of strength and conditioning research*, **23**(9), 2548–2554. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181bc19b1>

Wen, D., Utesch, T., Wu, J., Robertson, S., Liu, J., Hu, G., et al. (2019). Effects of different protocols of high intensity interval training for VO2max improvements in adults: a meta-analysis of randomised controlled trials. *J. Sci. Med. Sport* 22 (8), 941–947. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2019.01.013>

Sites internet :

Règlements fédéraux : <https://www.fftri.com/la-federation/textes-officiels/> (consulté le 25 avril 2025)

Définition du triathlon : <https://www.fftri.com/pratiquer/disciplines/triathlon/> (consulté le 25 avril 2025)

11. Annexe

Tableau 13 : Ensemble des séances pour les deux groupes

Semaine 1 :

Contenu
HIDIT : 2 × 1m30W-1mR; 1mW-45sR; 45sW-30sR; 30sW-20sR;15sW / R entre les séries : 4m
HIIT : 2 × 8m 30sW-30sR / R entre les séries : 4m
Temps total à 100% de VMA : 8m

Semaine 2 :

Contenu
HIDIT : 2 × 2mW-1m20R; 1m30W-1mR; 1mW-40sR; 30sW-20sR / R entre les séries : 5m
HIIT : 2 × 10m 30sW-30sR / R entre les séries : 5m
Temps total à 100% de VMA : 10m

Semaine 3 :

Contenu
HIDIT : 2 × 2m30W-1m20R; 2mW-1m20R; 1mW-40sR; 30sW-20sR / R entre les séries : 6m
HIIT : 2 × 12m 30sW-30sR / R entre les séries : 6m
Temps total à 100% de VMA : 12m

Semaine 4 :

Contenu
HIDIT : 3 × 2mW-1m20R; 1m30W-1mR; 1mW-45sR / R entre les séries : 4m30
HIIT : 3 × 9m 30sW-30sR / R entre les séries : 4m30
Temps total à 100% de VMA : 13m30

12. Résumés

12.1 Français

Objectif : Le but de cette étude est de comparer l'impact de l'entraînement HIIT et de l'entraînement HIDIT sur la performance en course à pied sur un public de triathlètes. Pour comparer les bénéfices de ces méthodes d'entraînement nous avons mesuré la VMA.

Méthode : 19 jeunes triathlètes ont été recrutés au sein du Villeneuve d'Ascq Triathlon avec un âge moyen de 13,4 ans. Ils ont été répartis en deux groupes de 10 et 9 participants, puis attribués à une méthode d'entraînement après le premier test, de manière à avoir des groupes avec des VMA moyennes similaires. La VMA est évaluée grâce au test Léger-Boucher (1980) effectué avant et après la période d'entraînement. La période d'entraînement a duré 4 semaines avec des temps de travail identiques.

Résultats : Aucune progression significative n'a été observée pour les deux groupes HIDIT et HIIT ($p = 0,16$ et $0,11$ respectivement). L'ANOVA à mesures répétées confirme cela avec une interaction VMA – groupe évaluée à $p = 0,7$. Il n'y a pas de différence de progression entre les groupes car le p de l'interaction temps-groupe est égal à $0,7$. Les moyennes des deux groupes sont plus hautes pour la VMA finale : de 15,2 à 15,5 pour le groupe HIIT ; de 14,8 à 15,3 pour le groupe HIIT.

Conclusion : La durée de l'étude ne permet pas de valider définitivement les réponses apportées par cette étude. On n'observe pas de différences significatives de progression, mais la tendance des deux groupes est à l'augmentation. Des études plus complètes sont nécessaires pour objectiver d'éventuelles différences d'efficacité entre ces deux méthodes. Dans une perspective d'entraînement et sur les bases de l'étude de Vaccari et al. (2020), on peut tout de même dire que l'utilisation de la méthode HIDIT peut servir à apporter de la variété dans les séances proposées au sportif.

Mots clés : Vitesse maximale aérobie, HIDIT, HIIT, Course à pied, Triathlon

Compétences acquises : programmation de séances, gestion d'un groupe de triathlète, acquérir une méthode scientifique

12.2 English

Objective : The purpose of this study was to compare the efficiency of HIIT and HIDIT training on running performances in young triathletes. To compare the benefits of each method we measured maximal aerobic speed.

Method : 19 young triathletes have been recruited in Villeneuve d'Ascq Triathlon with an average age of 13.2 years. They have been split into 2 groups of 10 and 9 people and then attributed to a training method after the first test to have similar maximal aerobic speed between groups. Maximal aerobic speed has been measured by the Léger-Boucher test (1980) before and after training period. Training period has been 4 weeks long with equals work time between groups.

Results : No significant progression has been reported for each group, HIDIT and HIIT ($p = 0,16$ and $0,11$). Repeated-measures ANOVA confirms this with the interaction VMA - Group showing a $p = 0,7$. There is no significant difference of progression between groups with the p of the time-group interaction equal to $0,7$. Average results of each group reveal an increasing trend : 15,2 to 15,5 for HIDIT group; 14,8 to 15,3 for HIIT group.

Conclusion : The length of this study can't allow us to validate the results of this study as categorical conclusions. We didn't see significant differences in progression between groups but the trend is increasing for each of them. More comprehensive studies are needed to objectivise any differences in effectiveness between these two methods. From a training perspective, and based on the study by Vaccari & al. (2020), we can nevertheless say the HIDIT method can be used to bring variety to the sessions proposed to the athlete.

Key words : Maximal aerobic speed, HIIT, HIDIT, Running, Triathlon