

# REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem  
Institut d'Education Physique et Sportive



---

## CONCEPTION D'UN NOUVEAU TEST D'ÉVALUATION DE LA VITESSE MAXIMALE AÉROBIE CHEZ LES ATHLÈTES DE DEMI-FOND (800m-1500m) : TEST INTERMITTENT DE COURSE SUR PISTE

---

### THÈSE

Pour l'obtention du

### DIPLOME DE DOCTORAT

*Option : Préparation Physique Sportive*

PRESENTÉE PAR

.....  
**Saddek BENHAMMOU**

---

#### Membres du jury

M. Ali BENGUOUA	Professeur des Universités	Université de Mostaganem	Président
M. Moulay Idriss MOKKEDES	Professeur des Universités	Université de Mostaganem	Directeur
M. Laurent MOUROT	Professeur des Universités	Université de Franche-Comté	Co-directeur
M. Mohammed SEBBANE	Professeur des Universités	Université de Mostaganem	Membre
M. Abdelmalek Mohamed	Professeur des Universités	ESSTS Dély-Ibrahim Alger	Membre
M. Kheireddine BENRABEH	Professeur des Universités	Centre universitaire de Tissemsilt	Membre

---

Année universitaire : 2022/2023

## **Remerciements**

---

Avant tout, je remercie **ALLAH** le Miséricordieux, le Tout Puissant, le Dieu des terres et des cieux.

**Mes parents** de m'avoir inculqué la valeur du travail. L'éducation que vous m'avez offerte est un héritage dont je vous serai toujours reconnaissant.

Ce travail est une synthèse pour moi de plus de vingt-cinq années de pratique de la course à pieds, au cours desquelles je me suis intéressé à l'entraînement sportif principalement les tests de terrain.

Ce n'est qu'après la réalisation de ce travail que l'on se rend compte de l'impact de notre entourage sur ce dernier.

**Je tiens à remercier...**

Monsieur **Mokkedes Moulay Idriss**, mon directeur de thèse, pour l'intérêt qu'il a manifesté à mon égard, pour ses nombreux conseils, encouragements et amitiés. Ses qualités en tant que chercheur m'ont apporté des connaissances nécessaires.

Monsieur **Laurent Mourot**, pour avoir accepté d'être mon deuxième directeur de thèse, et de m'avoir accueilli au sein de la plateforme EPSI, votre confiance, vos conseils et votre sens de dévouements envers moi restera toujours gravé dans ma mémoire. Auprès de vous, j'ai pu découvrir les exigences de la recherche et comment sortir de ses labyrinthes. Les mots ne seront jamais quelques soit leurs forces ou leurs sens à la hauteur de votre fidélité, à votre engagement envers mon travail et moi-même. Pour cela et pour maintes choses, soyez rassuré de ma reconnaissance, une reconnaissance pour la vie.

Monsieur **Adel Belkadi**, enseignant à l'institut d'éducation physique et sportive de Mostaganem, pour ses multiples conseils et encouragements depuis le démarrage de ce projet.

Tous **les athlètes** qui ont participé de manière bénévole à la collecte de données de la présente étude. Sans eux, l'avancé scientifique sur le sujet n'aurait pas été possible.

L'ensemble du **personnel de l'EPS** de Mostaganem.

Je ne remercierai jamais assez **ma femme**, qui tout au long de ces années, a su être une oreille attentive, un support incroyable et un motivateur hors pair. Tu es indispensable au maintien de l'équilibre dans ma vie et à mon succès.

Mes deux plusbelles merveilles : **Meriem Haoua** et **Zineb Hasna**.

Toute **ma famille**, ma **belle famille** et toutes **les personnes** qui, à un moment ou à un autre, ont contribué à la réalisation de cette recherche.

Je n'oublierai pas d'avoir une pensée très spéciale à Madame **Colette**, Monsieur **Éric**, Monsieur David et sa famille (Besançon), je suis profondément touché par votre attention et votre gentillesse restera gravé au fond de mon cœur à jamais.

Enfin, j'aimerais exprimer ma gratitude à Messieurs **les membres du jury** d'avoir accepté de lire cette thèse et d'avoir apporté une expertise de plus à ce travail.

Pour finir « **ALHAMDOULILAH**I » pour avoir achevé une tâche si lourde.

## Publications et communications

Ce travail a fait l'objet des publications et des communications suivantes.

### Articles scientifiques

1. **Saddek Benhammou.**, Moulay Idriss Mokkedes., Laurent Mourot., & Ali Bengoua. (2019). Proposition d'un test d'effort intermittent pour déterminer la vitesse maximale aérobie ( $80/20_{VMA}$ ). *Journal of Sport Science Technology and Physical Activities*, 16(2), 95-107.
2. **Benhammou Saddek.**, Jérémy B.J. Coquart., Laurent Mourot., Belkadi Adel., Mokkedes Moulay Idriss., Bengoua Ali., & Mokrani Djamel. (2020). Comparison of two tests to determine the maximal aerobic speed. *Acta Facultatis Educationis Physicae Universitatis Comenianae*, 60 (2): 252-262.
3. **Saddek Benhammou.**, Laurent Mourot., Moulay Idriss Mokkedes., Ali Bengoua., & Adel Belkadi. (2021). Assessment of maximal aerobic speed in runners with different performance levels: interest of a new intermittent running test. *Science & sports*, 36 413.e1—413.e9.
4. **Saddek Benhammou.**, Laurent Mourot., Jérémy Coquart., Adel Belkadi., Moulay Idriss Mokkedes., & Ali Bengoua (2021). The 180/20 intermittent athletic test: A new intermittent track test to assess the maximal aerobic speed in middle-distance runners. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 15 (1).

### Communications orales

1. **Saddek Benhammou**, Moulay Idriss Mokkedes , Laurent Mourot, Adda Ghoul, Adel Belkadi. Proposal for a new test to estimate the maximal aerobic speed in middle-distance runners. Le 2 deuxième colloque national sur: Le 2 deuxième colloque national sur: entraînement sportif moderne entre multiplicité des approches et convergence de performance. 19-20 juin 2019 à l'université Hassiba Benbouali de Chlef. Algérie.

2. **Saddek Benhammou**, Moulay Idriss Mokkedes, Laurent Mourot, Ali Bengoua. The 180-20 intermittent athletic test as a measurement of maximal aerobic speed in middle-distance runners: comparison with an incremental field test. Le 9ème colloque international sur : ‘‘Statut des sciences et des techniques des activités physiques et sportives dans la société contemporaine : Défis et perspectives. 05-06 novembre 2019 à l’université abdelhamid ibn badis Mostaganem. Algérie.
  
3. **Saddek Benhammou**, Laurent Mourot, Jérémy Coquart. Évaluation de la performance d'endurance chez les coureurs de demi-fond: un nouveau test intermittent sur piste. 1er colloque international virtuelle Science et technologie du sport. 26-27-28 septembre 2020. Université Constantine 2 et Britannia Sport and Exercise Science Academy. Algérie.
  
4. **Saddek Benhammou**, Laurent Mourot, Moulay Idriss Mokkedes, Sidahmed Metrag. The operating characteristic graph (ROC) to examine the sensitivity of a new intermittent field test. 1er colloque national virtuelle sur application des statistiques dans le domaine des STAPS. 26 juin 2021 à l’université abdelhamid ibn badis Mostaganem. Algérie.

# **SOMMAIRE**

---

<b>Liste des tableaux</b>	<b>1</b>
<b>Liste des figures</b>	<b>3</b>
<b>Glossaire</b>	<b>5</b>
<b>Déclaration</b>	<b>7</b>

## **PRESENTATION DE LA RECHERCHE**

<b>Introduction générale</b>	<b>9</b>
<b>Problématique</b>	<b>11</b>
<b>Objectifs de l'étude</b>	<b>12</b>
<b>Hypothèses</b>	<b>12</b>
<b>Synthèse des études similaires</b>	<b>13</b>
<b>Conclusion</b>	<b>23</b>

## **PREMIERE PARTIE: REVUE DE LA LITTÉRATURE**

### **CHAPITRE I: LE DEMI-FOND ET SES DETERMINANTS**

<b>1. Contexte historique</b>	<b>27</b>
<b>2. La caractérisation de la course de demi-fond</b>	<b>27</b>
<b>3. Mécanismes énergétiques au cours de la course de demi-fond</b>	<b>27</b>
3.1. La production d'énergie pendant la course	<b>28</b>
3.2. L'intensité de l'exercice	<b>29</b>
<b>4. Les déterminants physiologiques de performance en course de demi-fond</b>	<b>30</b>
4.1. La capacité aérobie	<b>30</b>
4.1.1. La consommation maximale d'oxygène (VO <sub>2</sub> max)	<b>31</b>
4.1.1.1. Relation entre VO <sub>2</sub> max et la performance	<b>33</b>
4.1.2. La puissance maximale aérobie (PMA)	<b>33</b>
4.1.3. L'endurance aérobie (EA)	<b>34</b>
4.1.3.1. L'index d'endurance (IE)	<b>35</b>
4.1.3.2. L'indice d'endurance aérobie (IEA)	<b>35</b>
4.2. L'économie de course	<b>36</b>
4.3. Le seuil anaérobie	<b>37</b>

<b>5. Le contenu d'entraînement</b>	<b>38</b>
5.1. L'endurance	38
5.1.1. Définition de l'endurance	38
5.1.2. Les différentes formes d'endurance	39
5.1.3. Développement de l'endurance en demi-fond	40
5.1.4. Effets de l'entraînement en endurance	42
5.2. Les exercices intermittents	43
5.2.1. Les principes de l'exercice intermittent	44
5.2.2. Les exercices intermittents, logiques pour l'entraînement de demi-fond	44
5.2.3. Les exercices intermittents et la VMA	45
5.2.4. Les effets de l'entraînement intermittent	46
5.2.5. Modifications dans les performances sportives après un entraînement basé sur des exercices d'intermittents	47
5.2.6. Approche comparative : intermittent vs continu	48

## **CHAPITRE II: LA VITESSE MAXIMALE AEROBIE, SIGNIFICATION ET LIEN AVEC LA PERFORMANCE**

<b>1. Contexte historique</b>	<b>51</b>
<b>2. Définition de la VMA</b>	<b>51</b>
<b>3. Mesure de la VMA, quelle utilité?</b>	<b>51</b>
<b>4. VMA et VO<sub>2</sub>max prédit</b>	<b>52</b>
<b>5. VMA et relation avec la performance</b>	<b>53</b>
<b>6. Le temps limite à la vitesse associée à la VMA (tlim VMA)</b>	<b>53</b>
<b>7. Distance de la compétition et % de VMA sollicités</b>	<b>55</b>
<b>8. L'utilisation de la VMA comme indicateur de la performance</b>	<b>56</b>
<b>9. Impact du protocole sur la détermination de la VMA</b>	<b>57</b>

## **CHAPITRE III: OUTILS D'ÉVALUATION DE LA VITESSE MAXIMALE AÉROBIE**

<b>1. Exigences de la réalisation d'un test</b>	<b>61</b>
1.1. La familiarisation avec le test	61
1.2. Le force d'engagement dans le test	61
1.3. Le moment de la journée	61
<b>2. Critères de pertinence applicables aux tests de VMA</b>	<b>62</b>
2.1. Degré de validité	62
2.2. Degré de fidélité (reproductibilité)	62
2.3. Degré d'accessibilité	63
2.4. Degré de sensibilité	63
2.5. Autres critères	63
<b>3. Evaluation de la VMA</b>	<b>63</b>
3.1. Les tests réalisés en laboratoire	64
3.2. Les tests réalisés sur le terrain	64
3.2.1 Epreuves continues à intensité stable (protocoles rectangulaires)	65
3.2.1.1. Test demi-Cooper	66
3.2.1.2. Test de 5 min	66
3.2.2. Epreuves continues à intensité progressive (protocole triangulaires continus)	66
3.2.2.1. Test de course sur piste de l'université de Montréal	66
3.2.2.2. Test Conconi	67
3.2.2.3. Test navette de 20 m	68
3.2.2.4. Le test de Brue derrière un cycliste	69
3.2.2.5. Le test de Lavoie	69
3.2.2.6. Le test de VAMEVAL	69
3.2.3. Epreuves intermittentes à intensité progressive (protocolos triangulaires intermittents)	70
3.2.3.1. Test de Carminatti	70
3.2.3.2. Test incremental	71
3.2.3.3. Yo-Yo intermittent test	71
3.2.3.4. Le 30-15 intermittent fitness test	71
3.2.3.5. Le 45/15	72
3.2.3.6. Footeval	73
3.2.3.7. Test d'endurance intermittent de volleyball	74

<b>Conclusion</b>	<b>77</b>
<b>DEUXIÈME PARTIE : METHODOLOGIE, ANALYSE ET DISCUSSION DES RESULTATS</b>	
<b>METHODOLOGIE GENERALE</b>	<b>79</b>
<b>CARACTERISTIQUES DES SUJETS</b>	<b>79</b>
<b>CHAPITRE I : ETUDE PRELIMINAIRE : DETERMINATION DU PROTOCOLE DE TEST DE L'ETUDE</b>	
<b>1. INTRODUCTION</b>	<b>83</b>
<b>2. ETUDE 1</b>	<b>84</b>
<b>2.1. Objectif</b>	<b>84</b>
<b>2.2. Matériels et méthodes</b>	<b>84</b>
2.2.1. <i>Sujets</i>	<b>84</b>
2.2.2. <i>Procédure</i>	<b>84</b>
2.2.3. <i>Test 80/20<sub>VMA</sub></i>	<b>85</b>
2.2.4. <i>Le test de VAMEVAL</i>	<b>86</b>
2.2.5. <i>Analyse statistique</i>	<b>86</b>
<b>2.3. Résultats</b>	<b>87</b>
<b>2.4. Discussion</b>	<b>88</b>
2.4.1. <i>La vitesse maximale aérobie</i>	<b>88</b>
2.4.2. <i>La fréquence cardiaque maximale</i>	<b>89</b>
2.4.3. <i>La lactatémie</i>	<b>89</b>
<b>2.5. Conclusion</b>	<b>89</b>
<b>3. ETUDE 2</b>	<b>90</b>
<b>3.1. Objectif</b>	<b>90</b>
<b>3.2. Matériels et méthodes</b>	<b>90</b>
3.2.1. <i>Sujets</i>	<b>90</b>
3.2.2. <i>Procédure</i>	<b>90</b>



3.2.3. <i>Test 150/50<sub>VMA</sub></i>	91
3.2.4. <i>Le test de VAMEVAL</i>	92
3.2.5. <i>Analyse statistique</i>	92
<b>3.3. Résultats</b>	<b>93</b>
<b>3.4. Discussion</b>	<b>94</b>
<b>3.5. Conclusion</b>	<b>95</b>
<b>4. ETUDE 3</b>	<b>96</b>
<b>4.1. Objectif</b>	<b>96</b>
<b>4.2. Matériels et méthodes</b>	<b>96</b>
4.2.1. <i>Sujets</i>	96
4.2.2. <i>Procédure</i>	96
4.2.3. <i>Test 180/20<sub>IAT</sub></i>	97
4.2.4. <i>Le test de VAMEVAL</i>	99
4.2.5. <i>Analyse statistique</i>	99
<b>4.3. Résultats</b>	<b>99</b>
<b>4.4. Discussion</b>	<b>101</b>
<b>4.5. Conclusion</b>	<b>102</b>

## CHAPITRE II : VALIDITE, REPRODUCTIBILITE ET SENSIBILITE

### DU 180/20<sub>IAT</sub>

<b>1. Introduction</b>	<b>104</b>
<b>2. Matériels et méthodes</b>	<b>104</b>
2.1. <i>Sujets</i>	104
2.2. <i>Procédure</i>	105
2.3. <i>Test 180/20<sub>IAT</sub></i>	106
2.4. <i>Le test de VAMEVAL</i>	106
2.5. <i>Analyse statistique</i>	106
<b>3. Résultats</b>	<b>107</b>
<b>4. Discussion</b>	<b>110</b>
<b>5. Conclusion</b>	<b>115</b>

## CHAPITRE III : RELATION ENTRE $180/20_{IAT}$ ET LA PERFORMANCE EN DEMI-FOND

<b>1. Introduction</b>	<b>117</b>
<b>2. Matériels et méthodes</b>	<b>117</b>
2.1. <i>Sujets</i>	117
2.2. <i>Procédure</i>	117
2.3. <i>Tests contre la montre</i>	118
2.4. <i>Analyse statistique</i>	118
<b>3. Résultats</b>	<b>118</b>
<b>4. Discussion</b>	<b>120</b>
<b>5. Conclusion</b>	<b>121</b>
<b>Applications pratique</b>	<b>122</b>
<b>Limites et perspectives</b>	<b>123</b>
<b>Conclusion générale et recommandations</b>	<b>124</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>127</b>
<b>Annexes</b>	<b>157</b>

**LISTE DES TABLEAUX**

<b>Page 30</b>	<b>Tableau 01</b> : Impacts physiologiques obtenus par les différents % de VMA (Cazorla, 2010)
<b>Page 32</b>	<b>Tableau 02</b> : Les valeurs du VO <sub>2</sub> max chez les coureurs d'élite de demi-fond
<b>Page 33</b>	<b>Tableau 03</b> : Lien entre le VO <sub>2</sub> max et la performance sur différentes distances
<b>Page 34</b>	<b>Tableau 04</b> : Synthèse des principales études évaluant le temps limite de maintien d'un % de VMA
<b>Page 35</b>	<b>Tableau 05</b> : Niveau d'endurance à partir du calcul de l'index d'endurance (d'après Péronnet et al. 1991)
<b>Page 39</b>	<b>Tableau 06</b> : Les formes d'endurance et critères mis en jeu (d'après Ferré et Leroux, 1995)
<b>Page 41</b>	<b>Tableau 07</b> : Principales caractéristiques permettant le développement de l'endurance (adapté de Pradet, 1997)
<b>Page 52</b>	<b>Tableau 08</b> : Prédiction du VO <sub>2</sub> max en fonction de la vitesse de course
<b>Page 55</b>	<b>Tableau 09</b> : Relation entre la distance de compétition et % de VMA susceptible d'être maintenu (d'après Cazorla, 2004)
<b>Page 56</b>	<b>Tableau 10</b> : Prédiction des performances selon différentes distances de course (d'après Cazorla, 2004)
<b>Page 57</b>	<b>Tableau 11</b> : Comparaison des valeurs de VMA obtenues à partir de différents protocoles
<b>Page 62</b>	<b>Tableau 12</b> : Niveau de validité en fonction des coefficients de corrélation ( $r$ ) proposés par Hopkins et al. (2009)
<b>Page 76</b>	<b>Tableau 13</b> : Récapitulatif des principaux tests de mesure de la VMA
<b>Page 80</b>	<b>Tableau 14</b> : Caractéristiques biométriques des sujets des 5 études (Moyenne $\pm$ Ecart-Type)
<b>Page 84</b>	<b>Tableau 15</b> : Caractéristiques des sujets
<b>Page 86</b>	<b>Tableau 16</b> : Tableau de correspondance du test 80/20 <sub>VMA</sub>
<b>Page 87</b>	<b>Tableau 17</b> : Paramètres physiologiques mesurées lors des deux tests
<b>Page 92</b>	<b>Tableau 18</b> : Tableau de correspondance du test 150/50 <sub>VMA</sub>
<b>Page 93</b>	<b>Tableau 19</b> : Performances physiologiques réalisées au cours des deux tests
<b>Page 98</b>	<b>Tableau 20</b> : Tableau de correspondance du 180/20 <sub>IAT</sub>
<b>Page 105</b>	<b>Tableau 21</b> : Caractéristiques biométriques des sujets

- Page 108**     **Tableau 22** : Caractéristique physiologiques et performances réalisées lors des deux tests
- Page 108**     **Tableau 23**: Reproductibilité des indices physiologiques de l'épreuve 180/20<sub>IAT</sub>
- Page 109**     **Tableau 24** : Les aires sous la courbe ROC pour la VMA et comparaison des paramètres de performance au test 180/20<sub>IAT</sub> entre les deux groupes
- Page 112**     **Tableau 25** : Les études comparant les tests intermittents et les tests continus
- Page 118**     **Tableau 26** : Performances réalisées lors des 4 tests
- Page 119**     **Tableau 27** : Coefficient de corrélation entre la VMA obtenue lors des deux tests et la performance réalisée sur 800m et 1500m

## LISTE DES FIGURES

- Page 29**      **Figure 01** : les filières énergétiques et leur délai d'intervention (adapté de Howald) (Poortmans & Boisseau, 2017)
- Page 30**      **Figure 02** : Modèle de déterminants physiologiques pour la course de demi-fond (Brandon, 1995)
- Page 42**      **Figure 03** : Développement des aspects de l'endurance (d'après Prévost & Reiss, 2019)
- Page 54**      **Figure 04** : Temps limite à différents % de VMA chez les coureurs de la course de durée (Billat et al., 1995)
- Page 58**      **Figure 05** : Variation de la VMA en fonction du protocole du test (selon Cazorla, 2004)
- Page 65**      **Figure 06** : Classification des protocoles des tests de VMA
- Page 67**      **Figure 07** : Organisation du test de course sur piste de l'université de Montréal (Léger et Boucher, 1980)
- Page 68**      **Figure 08** : Le point de déflexion à partir de la fréquence cardiaque au cours du test Conconi (Conconi et al., 1996).
- Page 68**      **Figure 09** : Organisation du test navette de 20 m (Léger & Lambert, 1982)
- Page 69**      **Figure 10** : Organisation du test de Brue (Breu, 1985)
- Page 70**      **Figure 11** : Organisation du test de VAMEVAL (Cazorla, 1990)
- Page 70**      **Figure 12** : Organisation du test de Carminatti (Carminatti, 2004)
- Page 71**      **Figure 13** : L'organisation de Yo-Yo intermittent test (Bangsbo et al., 2008)
- Page 72**      **Figure 14** : L'organisation du 30-15 intermittent fitness test (Buchheit, 2008)
- Page 73**      **Figure 15** : l'organisation du test de 45/15
- Page 74**      **Figure 16** : L'organisation du test de Footeval
- Page 75**      **Figure 17**: L'organisation du test d'endurance intermittent de volleyball (Rodríguez-Marroyo et al., 2017)
- Page 79**      **Figure 18** : Design de l'étude
- Page 85**      **Figure 19** : L'organisation matérielle du test 80/20<sub>VMA</sub>
- Page 88**      **Figure 20** : (A) Relation entre VMA<sub>VAM-T</sub> et VMA<sub>80/20</sub>. (B) Concordance entre VMA<sub>VAM-T</sub> et VMA<sub>80/20</sub>: graphique de Bland-Altman
- Page 91**      **Figure 21** : L'organisation matérielle du test 150/50<sub>VMA</sub>
- Page 94**      **Figure 22** : (A) Relation entre VMA<sub>VAM-T</sub> et VMA<sub>150/50</sub>. (B) Concordance entre VMA<sub>VAM-T</sub> et VMA<sub>150/50</sub>: graphique de Bland-Altman

- Page 97**      **Figure 23** : L'organisation matérielle du 180/20<sub>IAT</sub>
- Page 100**     **Figure 24** : (A) Relation entre  $VMA_{VAM-T}$  et  $VMA_{180/20IAT}$ . (B) Concordance entre  $VMA_{VAM-T}$  et  $VMA_{180/20IAT}$ : graphique de Bland-Altman
- Page 101**     **Figure 25** : (A) Relation entre test et re-test pour le 180/20<sub>IAT</sub>. (B) Reproductibilité (test et re-test) du 180/20<sub>IAT</sub> : graphique de Bland-Altman
- Page 107**     **Figure 26** : (A) Relation entre  $VMA_{VAM-T}$  et  $VMA_{180/20IAT}$ . (B) Limites de concordance entre  $VMA_{VAM-T}$  et  $VMA_{180/20IAT}$ : graphique de Bland-Altman
- Page 109**     **Figure 27** : (A) Relation entre test et re-test pour 180/20<sub>IAT</sub> (B) Limites de concordance entre test et re-test pour 180/20<sub>IAT</sub>: graphique de Bland-Altman
- Page 110**     **Figure 28** : Courbe ROC du VMA au test 180/20<sub>IAT</sub>
- Page 119**     **Figure 29** : (A) Relation entre la performance du 800 m et  $VMA_{180/20IAT}$ . (B) Relation entre la performance du 800 m et  $VMA_{VAM-T}$
- Page 120**     **Figure 30** : (A) Relation entre la performance du 1500 m et  $VMA_{180/20IAT}$ . (B) Relation entre la performance du 1500 m et  $VMA_{VAM-T}$

## **GLOSSAIRE**

**Consommation maximale d'oxygène (VO<sub>2</sub>max) :** la quantité maximale d'oxygène que l'organisme peut prélever, transporter, et consommer par unité de temps (Billat et al., 2000).

**Economie de Course (EC) :** la demande en énergie pour une certaine vitesse et est généralement obtenue en mesurant la consommation d'oxygène à une vitesse donnée (Daniels, 1985).

**Seuil Anaérobie (SAN) :** l'intensité d'exercice maximale pouvant être maintenue pendant une période prolongée avant que l'acide lactique ne s'accumule de manière trop importante dans le sang (Billat, 1996).

**Endurance Aérobie (EA) :** la fraction ou le pourcentage du VO<sub>2</sub>max ou de la puissance maximale aérobie ou encore de la vitesse aérobie maximale susceptible d'être maintenu au cours d'une épreuve d'une durée donnée (Cazorla, 2004).

**Vitesse Maximale Aérobie (VMA) :** la vitesse minimale qui sollicite la consommation maximale d'oxygène (Billat et al., 2001).

**Puissance Maximale Aérobie (PMA) :** la puissance atteinte à la consommation maximale d'oxygène (Léger et Cazorla, 2006) .

**Index d'Endurance (IE) :** outil de mesure qui vous permet d'apprécier la capacité à maintenir un effort de course important sur la durée (Péronnet et Thibault, 1987).

**Indice d'Endurance Aérobie (IEA) :** la vitesse correspondant à la plus grande fraction possible d'utilisation de la vitesse maximale aérobie en fonction de la durée de l'effort (Cazorla, 1990).

**Adénosine Tri Phosphate (ATP) :** est une molécule riche en énergie qui libère son énergie en se convertissant en ADP (adénosine-diphosphate) (Prévost et Reiss, 2019).

**Fréquence Cardiaque Maximale (FCmax) :** nombre de battements maximum que le cœur peut faire en 1 minutes (Ferré et Leroux, 1995).

**Temps limite à Vitesse Maximale Aérobie (Tlim VMA) :** le temps limite de course à un pourcentage donné de la VMA (Billat et al., 2001).

**Concentration de Lactate (LA) :** le taux de lactate dans le sang (Howley et al., 1995).

**Coefficient de Corrélation Intraclasse (ICC)** : la proportion de la variabilité totale due à la variabilité inter-sujets (Hopkins et al, 2009).

**R**: Récupération

**D**: Distance Parcourue

**Coefficient de Variation (CV)**: le rapport de l'écart-type à la moyenne (Hopkins et al, 2009).

**180/20<sub>IAT</sub>**: Intermittent Athletic Test 180/20

**150/50<sub>VMA</sub>**: Intermittent Athletic Test 150/50

**80/20<sub>VMA</sub>**: Intermittent Athletic Test 80/20

**VMA<sub>VAM-T</sub>** : La moyenne de la Vitesse Maximale Aérobie Obtenue lors du VAM-EVAL Test

**VMA<sub>80/20</sub>** : La moyenne de la Vitesse Maximale Aérobie obtenue lors du Test 80/20<sub>VMA</sub>

**VMA<sub>150/50</sub>** : La moyenne de la Vitesse Maximale Aérobie obtenue lors du 150/50<sub>VMA</sub>

**VMA<sub>180/20<sub>IAT</sub></sub>** : La moyenne de la Vitesse Maximale Aérobie obtenue lors du 180/20<sub>IAT</sub>

**T de Student (*t*)**: test statistique permettant de comparer les moyennes de deux groupes d'échantillons (Hopkins et al, 2009).

**Valeur de P (*p*)**: signifie valeur de probabilité, est une mesure statistique comprise entre 0 et 1. Elle est utilisée pour un test d'hypothèse (Hopkins et al, 2009).

**Aire Sous la Courbe (ASC)** : est la mesure de l'aire de la surface située sous le tracé d'une fonction mathématique dessinée dans un repère (Dardouri et al., 2014).




**DECLARATION**

---

Je déclare que le travail contenu dans cette thèse est uniquement de mon propre labeur. Je confirme également que cette étude reconnaît pleinement les opinions et les contributions du travail des encadreurs. L'approbation a été demandée et accordée par le conseil scientifique de l'institut d'éducation physique et sportive, université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem. Je déclare que le nombre de mots de cette thèse est de 47,198 mots.

**Benhammou Saddek**

Signature :



Date : 20/06/2022

## **PRESENTATION DE LA RECHERCHE**

---

**Introduction générale**

**Problématique**

**Objectifs de l'étude**

**Hypothèses**

**Synthèse des études similaires**

**Conclusion**

## Introduction générale

La course à pied est un sport accessible à tous dont la course de demi-fond qui est l'une des épreuves les plus pures de la locomotion humaine ; représentant l'activité physique sportive qui fait honneur au sport Algérien. Les paramètres d'ordre physiologique semblent déterminants pour la performance dans cette course. Le modèle classique (Berryman et al., 2018; Brandon, 1995; di Prampero et al., 1986; Rabadán et al., 2011) identifie 4 paramètres principaux, qui influe considérablement sur les performances de course en moyenne distance : la consommation maximale d'oxygène ( $VO_2max$ ), l'économie de course (EC), le seuil anaérobie (SAN) et l'endurance aérobie (EA). Pour être performant, le coureur de demi-fond doit posséder un profil physiologique incluant une variété de capacités aérobies et anaérobies (Blagrove et al., 2018; Brandon, 1995) contrairement au coureurs de fond où la contribution majeure des sources d'énergie aérobie est nécessaire (Berryman et al., 2018). De plus, la vitesse maximale aérobie (VMA) est bien reconnue pour contribuer à l'optimisation de la performance des coureurs de demi-fond (Billat et al., 2001), car elle est fortement corrélée à la performance en course à pied que le  $VO_2max$  (Lacour et al., 1991; Padilla et al., 1992).

Plusieurs travaux ont pointé sur l'importance de la VMA comme étant un excellent indicateur de la performance réalisée en course de demi-fond (Ali Almarwaey et al., 2003; Billat et al., 2001; Padilla et al., 1992). Déterminée dans plusieurs études (Berthoin et al., 1994; Berthoin, Pelayo, et al., 1996a; Berthon et al., 1997; Briggs, 1977; Cazorla, 1990; Léger et al., 1984; Léger & Boucher, 1980; Melin et al., 1996), cette référence est définie comme étant la plus petite vitesse qui sollicite la consommation maximale d'oxygène (Billat & Koralsztein, 1996; Billat, 2017; Billat et al., 2001; di Prampero et al., 1986; Lacour et al., 1991), ainsi elle est devenue depuis quelques années un des paramètres physiologiques les plus recherchés et évalués par les entraîneurs. La VMA est établie comme un excellent outil pour les entraîneurs car elle est directement utilisable sur le terrain pour fixer les charges d'entraînement et aussi l'évaluation de l'endurance aérobie du sportif (Berthoin, Pelayo, et al., 1996b; Billat & Koralsztein, 1996). Cette donnée est fondamentale pour l'entraîneur afin de permettre d'individualiser l'entraînement (Ferré & Leroux, 2009).

Plusieurs spécialistes ont développé des protocoles permettant de mesurer la VMA. En 1980, Léger et Boucher (Léger & Boucher, 1980) ont publié le premier test progressif appelé Université de Montréal Track test (UM-TT). Par la suite, plusieurs protocoles ont suivi (Berthon et al., 1997; Bradley et al., 2011; Buchheit, 2008; Castagna et al., 2014; Cazorla, 1990; Krustup et al., 2003; Léger et al., 1984; Manouvrier et al., 2016; Teixeira et al., 2014).

Un des plus utilisés est sans doute le test de VAM-EVAL (Cazorla, 1990) (qui est abrégé ici: VAM-T). Ce test a été proposé pour l'évaluation du métabolisme aérobie (c'est-à-dire le métabolisme avec prépondérance de la voie de phosphorylation oxydative) pendant la course (Carminatti et al., 2013) et repose sur une course continue est progressive. Par ailleurs, Cazorla (2004) a confirmé que le VAM-T a été élaboré pour faire progresser le test de l'UM-TT en termes d'accessibilité et de précision, et bénéficie indirectement du niveau de validité du UM-TT. Cependant, cet effort est radicalement différent de celui réalisé lors de l'entraînement quotidien des coureurs de demi-fond. En effet, si les performances de course de moyenne et longue distance sont de nature continue, il est bien connu que les coureurs, et en particulier les coureurs de demi-fond, pratiquent principalement des exercices intermittents rapides impliquant une contribution majeure des sources d'énergie anaérobie (Brandon, 1995) par rapport aux coureurs de fond qui pratiquent des exercices continus avec une intensité plus faible pour développer la capacité aérobie (Vuorimaa et al., 2008).

De nombreux travaux ont démontré que l'entraînement moderne des athlètes de demi-fond s'appuie sur un entraînement intermittent (Berryman et al., 2018; Vuorimaa et al., 2008), et divers études (Buchheit, 2008; Cappa et al., 2014; Manouvrier et al., 2016) ont suggéré que le type de travail musculaire effectué au cours du test doit être le plus proche possible de celui réalisé par l'athlète au cours de l'exercice de sa discipline. Il semble alors préférable que le test de détermination de la VMA doit être en adéquation avec les efforts réels que produisent les demi-fondeurs sur le terrain, dans un environnement familier d'évaluation dans lequel le sportif réalisera des exercices habituels. Par conséquent, le but de notre étude visera à développer un nouveau protocole du test de VMA spécifique pour les coureurs de demi-fond appelé Intermittent athletic test 180/20 ( $180/20_{IAT}$ ). Ce test permettra de déterminer une vitesse adaptée aux exercices intermittents (VMA spécifique). D'autre part, il a été suggéré par deux chercheurs renommés, Georges Gacon et Georges Cazorla, qu'il serait utile d'utiliser le concept de VMA spécifique aux exercices intermittents (Gacon, 1990 ; Cazorla, 2004).

Dans ce contexte, et à notre connaissance, aucune étude de ce genre n'a été encore menée en Algérie, dont les principales causes sont d'un côté l'absence des appareils de mesure de  $VO_2max$ , et d'un autre une négligence de cette référence physiologique (par les entraîneurs algériens) considérée comme primordiale et nécessaire à l'entraînement sportif. C'est dans ce double souci, que nous voulons projeter l'attention des entraîneurs et des préparateurs physiques Algériens vers un nouveau test spécifique pour améliorer les performances des coureurs de demi-fond. Avant d'entamer la première partie nous proposerons les hypothèses de travail qui guide notre recherche. Nous approfondirons dans la revue de littérature la

connaissance de la course de demi-fond et ses déterminants, nous évoquerons aussi, la VMA et son utilité avant d'aborder les tests de terrains les plus reconnus et utilisés estimant la VMA. Dans une deuxième partie, nous présenterons les outils méthodologiques que nous avons utilisés pour vérifier nos hypothèses. Par la suite, nous présenterons notre contribution personnelle (test de l'étude). Finalement, nous exposerons les résultats et leurs analyses, ainsi que la discussion avant de tirer nos conclusions.

## **Problématique**

Au cours des deux dernières décennies, un intérêt particulier a été porté aux tests de terrain (intermittent) pour déterminer la VMA, mais principalement dans les sports d'équipe (Bradley et al., 2011; Buchheit, 2008; Castagna et al., 2014; Manouvrier et al., 2016). Ces tests sont souvent composés de courses de navettes, avec des changements de direction. Cependant, ce type de test semble quelque peu inapproprié pour les athlètes de demi-fond qui réalise la course en ligne droite pendant les compétitions (c'est-à-dire sans changement de direction) et pratiquant la course intermittente dans leurs séances d'entraînement. En d'autres termes, nous sommes confrontés à quelques requêtes dont la question générale est la suivante :

- Est-il nécessaire d'utiliser le concept d'une VMA adaptée à la méthode d'entraînement intermittent chez les athlètes de demi-fond ? En d'autre terme, le  $180/20_{IAT}$  résiste-t-il aux critères méthodologiques et aux expertises expérimentales en termes de validité, fidélité, accessibilité et sensibilité ?

Pour trouver un lien entre le nouveau test et le test de VAM-T, d'autres questions se sont également posées :

- Quelque soit les variables mesurées, y a-t-il une relation entre le nouveau test et le test de VAM-T (le plus fréquemment utilisé) ?
- Est-ce que le  $180/20_{IAT}$  représente un bon outil pour apprécier la VMA chez les athlètes de demi-fond ?
- Est-ce que la VMA obtenue à partir du deux tests est liée à la performance de course de demi-fond ?

## Objectifs de l'étude

Les objectifs de cette étude sont :

- 1) Développement d'un nouveau test de détermination de la VMA adapté en fonction du mode d'entraînement des coureurs de demi-fond (exercices intermittents).
- 2) Comparer les réponses physiologiques dérivées du 180/20<sub>IAT</sub> avec celles du VAM-T (validité).
- 3) Evaluer la reproductibilité du 180/20<sub>IAT</sub> (test-retest) ainsi que sa sensibilité à l'entraînement.
- 4) Vérifier si la VMA obtenue lors du 180/20<sub>IAT</sub> est liée à la performance.

Afin d'atteindre nos objectifs, nous nous sommes fixés les tâches suivantes :

- Analyse des sources bibliographique relative à notre thème de recherche ;
- Réalisation des mesures anthropométriques ;
- L'étude expérimentale et la réalisation des tests ;
- Analyse et interprétation des résultats et leur discussion ;
- Conclusion.

## Hypothèses

Dans la situation expérimentale que nous avons choisie, nous retenons l'hypothèse générale suivante : en fonction du protocole utilisé, le 180/20<sub>IAT</sub> apparaît comme un bon outil pour déterminer la VMA d'une façon qui ne diffère pas des conditions d'entraînement des athlètes de demi-fond (travail intermittent).

Afin de répondre aux questions précédentes, nous avons émis les hypothèses opérationnelles suivantes:

- La VMA obtenue à partir du 180/20<sub>IAT</sub> se rapproche le plus de la VMA référence (VAM-T). En d'autre terme, le 180/20<sub>IAT</sub> donne des mesures de VMA satisfaisantes.
- Nous supposons l'existence d'une relation significative entre les réponses physiologiques dérivées des deux tests.
- Nous supposons que le 180/20<sub>IAT</sub> est reproductible, sensible et fortement corrélé aux performances de course de demi-fond.

## Synthèse des études similaires

**Etude 01 : Hervé Assadi (2012). Réponses physiologiques au cours d'exercices intermittents en course à pied. Thèse de Doctorat, Université de Bourgogne, France.**

### Résumé

Les objectifs de ce travail étaient d'analyser les réponses physiologiques au cours d'exercices intermittents en course à pied et de déterminer i) un test d'évaluation de la vitesse maximale aérobie (VMA) adapté aux exercices intermittents ; ii) les exercices intermittents permettant une sollicitation maximale de la consommation d'oxygène ( $VO_2\text{max}$ ) ; iii) les facteurs physiologiques et neuromusculaires limitant la durée des exercices intermittents. La première étude a permis de montrer que la réalisation d'un exercice intermittent alternant des périodes d'effort de 30 s avec des périodes de récupération de 30 s (30s-30s), à la VMA atteinte à la fin du test intermittent incrémental 45-15FIT, permettait à la fois de réaliser un grand nombre de répétitions et de solliciter un fort pourcentage de la  $VO_2\text{max}$  pendant la durée de l'exercice. Lors de la seconde étude nous avons montré que les exercices intermittents de type 5s-15s, 30s-30s et 60s-60s, courus à la VMA permettaient de solliciter un fort pourcentage de la  $VO_2\text{max}$ . L'exercice intermittent de type 30s-30s est celui qui permet néanmoins de réaliser le plus grand nombre de répétitions. Une part plus importante de la glycolyse dans la production d'énergie réduit le nombre de répétitions lors de l'exercice de type 60s-60s par rapport à l'exercice de type 30s-30s ; une fatigue musculaire causée par un plus grand nombre d'accélération et de décélération réduit quant à elle le nombre de répétitions lors de l'exercice de type 15s-15s, par rapport à l'exercice de type 30s-30s. Les résultats de la troisième étude ont confirmé que les exercices intermittents de type 5s-15s, courus à la VMA, induisaient une fatigue musculaire plus importante, due essentiellement aux nombreuses accélérations et décélérations. Il a également été montré qu'à la suite d'un exercice pré-fatigant des muscles extenseurs du genou (contractions musculaires évoquées par électrostimulation vs contractions volontaires isométriques), le nombre de répétitions lors de l'exercice intermittent 30s-30s était réduit, mais que le pourcentage de temps passé à plus de 90% de la  $VO_2\text{max}$  n'était pas diminué par rapport à la réalisation sans pré-fatigue. L'ensemble de nos travaux permettent de définir un ensemble d'exercices intermittents qui, lorsqu'ils sont courus à la VMA évaluée lors du test 45-15FIT, permettent d'atteindre un niveau élevé de sollicitation du système aérobie, dont l'exercice de type 30s-30s pourrait constituer un exercice "standard".

**Etude 02 : Johan Marcus Svensson (2007). The Development of a Soccer-Specific High-Intensity Intermittent Running Protocol. Thesis, Liverpool John Moores University, Angleterre.**

Résumé

Le but de cette thèse était de développer et d'appliquer un protocole de course intermittente de haute intensité où les composantes sous-maximales et maximales de l'endurance spécifique au football pourraient être évaluées. Dans l'étude 1 et l'étude 2, les travaux pilotes initiaux sur le protocole 15-50, puis le protocole 15-30, deux protocoles de fonctionnement intermittent de haute intensité, ont été examinés pour la fiabilité et les réponses physiologiques. Il a été signalé qu'un important biais d'apprentissage était présent dans les deux protocoles, reflété par des améliorations des performances entre les essais. La charge physique était plus élevée au stade maximal par rapport au stade sous-maximal dans les deux protocoles, la production d'énergie aérobie et anaérobie étant hautement simulée à la suite d'une manipulation de l'exercice et des périodes de repos à partir du stade sous-maximal. Il a été conclu que plusieurs séances de familiarisation étaient nécessaires sur les deux protocoles, en particulier pour les joueurs récréatifs, afin d'éliminer tout biais d'apprentissage. La relation entre le protocole 15-30 et la performance physique pendant le match a été examinée dans l'étude 3. Il n'y avait aucune relation entre les tests sur le terrain spécifiques au football et les indices de performance physique pendant le match. Une corrélation significative a été rapportée entre la consommation maximale d'oxygène et la distance parcourue au stade maximal du protocole 15-30. Aucune relation n'a été trouvée entre les autres tests de terrain standardisés utilisés dans le football et le protocole 15-30. Il a été conclu que la performance physique pendant le match est très variable, ce qui rend l'évaluation de la capacité physique des joueurs de football très difficile. La performance maximale des exercices à haute intensité était fortement influencée par la puissance aérobie maximale. Dans l'étude 4 et l'étude 5, la sensibilité du protocole 15-30 aux périodes d'entraînement pré-saison et en saison a été étudiée. Des améliorations attendues des performances ont été observées à la fin de la période d'entraînement de six semaines de pré-saison dans le protocole 15-30 et le test de récupération intermittente chez les jeunes joueurs de football professionnels. De petites augmentations de la consommation maximale d'oxygène ainsi qu'une plus grande augmentation des performances du protocole 15-30 ont également été signalées après l'entraînement en saison. Il a été conclu que des adaptations physiologiques significatives peuvent être obtenues à la fin de périodes d'entraînement spécifiques au football pendant la saison. Les adaptations



physiologiques sont plus susceptibles d'être attribuées à des facteurs périphériques qu'à des facteurs centraux. Un nouveau protocole unique de fonctionnement intermittent à haute intensité a été développé pendant ces études. Les mécanismes physiologiques qui régissent la performance des tests semblent être différents des réponses à d'autres tests sur le terrain spécifiques au football.

**Etude 03 : Zakaria Labsy (2002). Méthode indirecte de détermination de la vitesse maximale aérobie sur le terrain par un test spécifique au football. Thèse de Doctorat, université Pris 11, France.**

#### Résumé

Le but de ce travail est d'évaluer la fiabilité de deux versions d'un test de terrain spécifique au football pour déterminer la vitesse maximale aérobie (VMA). Le test de Probst est effectué sur un circuit de 140 m incluant des changements de direction, avec des paliers de 280 m, 0,6 km.h<sup>-1</sup> d'augmentation et 30 s d'intervalles de récupération. Sa version adaptée respecte le même protocole, mais, avec des paliers stables de 2 mn et 1,2 km.h<sup>-1</sup> d'augmentation à chaque palier. La première étude montre que la version originale du test de Probst surestime significativement la VMA chez les footballeurs par rapport aux athlètes de demi-fond, en comparant ce test à deux épreuves classiques, à sa version alignée et à sa version sur tapis roulant. La seconde étude confirme cette surestimation et montre que notre version adaptée du test de Probst est très proche et bien corrélée avec la VMA obtenue par l'épreuve classique de détermination de la VMA sur tapis roulant en mesure directe chez les footballeurs. En conclusion, notre version adaptée du test de Probst et non sa version originale apparaît comme une épreuve de terrain fiable, spécifique au football et facilement utilisable pour estimer la VMA chez les footballeurs.

**Etude 04 : (Schnitzler et al., 2010). A simple field test to assess endurance in inexperienced runners. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(8), 2026-2031.**

#### Résumé

**Objectif** : La précision d'un simple test sur le terrain, le test de capacité d'endurance de 3 minutes et 30 secondes (3'30 " ECT), a été évaluée chez 12 athlètes modérément entraînés.

**Méthode** : Le test consistait en 10 répétitions de course de 3 minutes, séparées par des récupérations passives de 30 secondes. Les 5 premiers essais ont été effectués à 75% de la vitesse aérobie maximale (VMA, qui avait été précédemment déterminée), et les 5 derniers étaient à une vitesse auto-sélectionnée. 17 autres athlètes modérément entraînés ont ensuite participé à une procédure de test-retest pour évaluer la reproductibilité de l'ECT 3'30 ''.

**Résultats** : Le résultat de ce test est une vitesse appelée Vend, exprimée en km.h<sup>-1</sup> et calculée comme la vitesse moyenne des 5 derniers essais. La vitesse critique (CV) et le seuil anaérobie individuel (IAT) ont également été déterminés. Les résultats ont montré que Vend était corrélé à tous les paramètres étudiés ( $p < 0,05$ ). Vend et CV ne différaient pas par rapport à la VMA (Vend:  $82,8 \pm 3,3\%$  de VMA; CV  $82,5 \pm 3,3\%$  de VMA;  $p > 0,05$ ). La procédure de test-retest a indiqué un coefficient de variation de  $1,99 \pm 1,88\%$ .

**Conclusion** : Vend est donc un indicateur intéressant car (a) il est basé sur un protocole de visite unique non invasif, (b) son application est dans le domaine des exercices lourds, et (c) il est hautement reproductible. L'ECT 3'30 '' semble donc être un test adéquat pour déterminer la capacité d'endurance chez des sujets moyennement entraînés.

**Etude 05** : (Castagna et al., 2014). **Validity and Reliability of the 45-15 Test for Aerobic Fitness in Young Soccer Players. *International journal of sports physiology and performance*, 9(3), 525-531.**

### Résumé

**Objectif** : Le but de cette étude était d'examiner la fiabilité et la validité d'un test de terrain populaire pour la capacité aérobie utilisé dans le football (45-15) en Italie. Alternant des courses progressives de 45 s avec une récupération passive de 15 s jusqu'à épuisement, le test considère la vitesse de pointe (PS) comme un reflet de la vitesse maximale aérobie (VMA).

**Méthode** : La validité et la fiabilité des 45-15 ont été évaluées chez 18 jeunes footballeurs masculins (âge  $16,7 \pm 1,8$  ans, masse corporelle  $70 \pm 7,45$  kg, taille  $177 \pm 0,5$  cm,  $55,62 \pm 5,56$  ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>) soumissent à des tests de laboratoire pour la capacité aérobie et à plusieurs reprises au 45-15.

**Résultats** : Les résultats ont montré que 45-15 PS était significativement lié à VO<sub>2</sub>max ( $r = .80$ ,  $P < .001$ , IC à 95% 47–93) et VMA ( $r = .78$ ,  $P = .001$ , IC à 95% 43–93). Aucun biais significatif entre VMA 45-15 PS ( $P = 0,11$ ) n'a été trouvé au cours de l'étude. Les joueurs dont la vitesse maximale aérobie est égale ou supérieure à 16,5 km.h<sup>-1</sup> peuvent être considérés comme des sujets ayant une bonne capacité aérobie.

**Conclusion** : À la lumière des résultats de cette étude, le test 45-15 peut être considéré comme un test fiable et valide pour diriger l'entraînement aérobie en football.

**Etude 06:** (Buchheit, 2008). **The 30-15 intermittent fitness test: accuracy for individualizing interval training of young intermittent sport players.** *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(2), 365-374.

### Résumé

**Objectif** : L'objectif de cette étude était de recueillir des preuves à l'appui de l'exactitude du test de fitness intermittent 30-15 (30-15 IFT) pour individualiser l'entraînement par intervalles de jeunes joueurs de sport intermittent.

**Méthode** : Chez 59 jeunes pratiquent des sports intermittents (âge,  $16,2 \pm 2,3$  ans), nous avons observé les relations entre la vitesse maximale de course (MRS) atteinte à la fin du 30-15IFT (MRS 30-15IFT) et les variables physiologiques induites par la course navette intermittente, y compris l'absorption maximale d'oxygène, la puissance explosive des membres inférieurs et la capacité de répéter des exercices intenses grâce à la cinétique de récupération cardiorespiratoire pendant l'exercice. Pour observer la capacité du 30-15IFT à prescrire des intensités de course appropriées pour les séances d'entraînement par intervalles, nous avons comparé les fréquences cardiaques (FC) atteintes au cours de 3 séries de courses intermittentes, où les distances ont été fixées selon le MRS 30-15IFT et le MRS atteint avec 2 tests de terrain continus populaires: Test de piste de l'Université de Montréal et test de course de navette de 20 m.

**Résultats** : Les résultats montrent que le MRS 30-15IFT est significativement corrélé avec toutes les variables physiologiques induites par les courses intermittentes de navette ( $P < 0,05$ ).

**Conclusion** : En conclusion, on peut dire que le 30-15IFT conduit à un MRS qui prend simultanément en compte diverses qualités physiologiques obtenues lors de l'exécution de courses intermittentes en navette. Pour la planification des séances d'entraînement par intervalles, le MRS 30-15IFT semble être une vitesse de référence précise pour amener les joueurs avec des profils physiologiques différents à un niveau similaire de demande cardiorespiratoire et donc pour normaliser le contenu d'entraînement.

**Etude 07: (Rodríguez-Marroyo et al., 2017). Validity, Reliability and Sensitivity of a Volleyball Intermittent Endurance Test. *International journal of sports physiology and performance*, 12(3), 364-369.**

### Résumé

**Objectif :** Analyser la validité d'un test d'endurance intermittente de volleyball (VIET). La fiabilité et la sensibilité test-retest du VIET pour évaluer les changements saisonniers ont également été étudiées.

**Méthode :** Au cours de la pré-saison, 71 joueurs de volleyball de différents niveaux de compétition ont participé à cette étude. Tous ont effectué le VIET et un test gradué sur tapis roulant avec mesure des échanges gazeux (GXT). Trente et un des joueurs ont effectué un VIET supplémentaire pour analyser la fiabilité test-retest. Pour tester la sensibilité du VIET, 28 joueurs ont répété le VIET et le GXT à la fin de leur saison.

**Résultats :** Des relations significatives ( $P < 0,001$ ) entre la distance VIET et l'absorption maximale d'oxygène ( $r = 0,74$ ) et la vitesse maximale du GXT ( $r = 0,78$ ) ont été observées. Il n'y avait pas de différence significative entre le test de performance VIET et le retest ( $1542,1 \pm 338,1$  vs  $1567,1 \pm 358,2$  m). Les performances du VIET ont augmenté de manière significative ( $P < .001$ ) avec le niveau de performance des joueurs et étaient sensibles aux changements de la condition physique au cours de la saison ( $1458,8 \pm 343,5$  vs  $1581,1 \pm 334,0$  m,  $P < 0,01$ ).

**Conclusion :** Le VIET peut être considéré comme un test valide, fiable et sensible pour évaluer l'endurance aérobie des joueurs de volleyball.

**Etude 08: (Rey et al., 2013). Évaluation indirecte de la capacité aérobie d'adolescents obèses : intérêt d'un test de course à pied intermittent court, progressif et maximal. *Science & Sports*, 28(5), e133-e139.**

### Résumé

**Objectif :** Déterminer l'intérêt du test intermittent progressif de type 15-15 appelé Spartacus pour mesurer indirectement le niveau global de capacité aérobie d'adolescents obèses en le comparant au test continu Navette.

**Méthode** : Quarante-trois adolescents obèses (33 filles et 10 garçons) ont réalisé les deux tests. L'influence du « type de test », du « sexe » et de leur interaction a été évaluée sur la fréquence cardiaque maximale ( $FC_{max}$ ), la vitesse de fin de test, les durées totale de test et nette de course, et la difficulté perçue.

**Résultats** : Les résultats ne montrent pas de différence significative inter-tests pour la  $FC_{max}$  et la difficulté perçue. Comparé au test Navette, le Spartacus permet d'obtenir une vitesse finale 20 % supérieure (11,5 vs. 9,4 km.h<sup>-1</sup>) et une durée totale de test 3,3 fois plus longue (17,3 vs. 5,3 min) pour une durée nette de course 1,7 fois supérieure (8,7 vs. 5,3 min) ( $p < 0,001$ ). Il n'y a pas d'effets significatifs du « sexe » ni de l'interaction « type de test × sexe ».

**Conclusion** : Le test Spartacus permet d'atteindre un même état psychophysologique maximal en produisant une vitesse de course et une durée totale de test supérieures.

**Etude 09** : (Krustrup et al., 2003). **The yo-yo intermittent recovery test: physiological response, reliability, and validity. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 35(4), 697-705.**

### Résumé

**Objectif** : Examiner la réponse physiologique et la reproductibilité du test de récupération intermittente Yo-Yo et son application au football d'élite.

**Méthode** : La fréquence cardiaque a été mesurée et les métabolites ont été déterminés dans des biopsies sanguines et musculaires obtenues avant, pendant et après le Yo-Yo test chez 17 hommes. Des mesures physiologiques ont également été effectuées lors d'un retest Yo-Yo et d'un test exhaustif sur tapis roulant (ITT). De plus, 37 joueurs de football d'élite masculins ont effectué deux à quatre tests saisonniers, et les résultats étaient liés à la performance physique dans les matchs.

**Résultats** : Le CV test-retest pour le Yo-Yo test était de 4,9%. La fréquence cardiaque maximale était similaire dans les tests ITT et Yo-Yo test (189 +/- 2 vs 187 +/- 2 bpm), tandis que le pic de lactate sanguin était plus élevé ( $P < 0,05$ ) dans le Yo-Yo test. Au cours du Yo-Yo test, le lactate musculaire a été multiplié par huit ( $P < 0,05$ ) et le phosphate de créatine musculaire (CP) et le glycogène ont diminué ( $P < 0,05$ ) de 51% et 23%, respectivement. Aucune différence significative n'a été observée dans la CP musculaire, le lactate, le pH ou le glycogène entre 90 et 100% du temps d'épuisement. Pendant la période de pré-compétition, les joueurs de football d'élite ont amélioré ( $P < 0,05$ ) les performances du Yo-Yo test et la consommation maximale d'oxygène de 25 +/- 6 et 7 +/- 1%,

respectivement. La course à haute intensité parcourue par les joueurs pendant les matchs était corrélée aux performances du Yo-Yo test ( $r = 0,71$ ,  $P < 0,05$ ).

**Conclusion** : Le test avait une reproductibilité et une sensibilité élevées, permettant une analyse détaillée de la capacité physique des athlètes dans les sports intermittents. Plus précisément, le test de récupération intermittente Yo-Yo était une mesure valide de la performance physique en football. Au cours de l'essai, la charge aérobie s'approchait des valeurs maximales et le système énergétique anaérobie était fortement sollicité. De plus, l'étude suggère que la fatigue pendant un exercice intense intermittent à court terme n'était pas liée à la CP musculaire, lactate, pH et glycogène.

**Etude 10:** (Manouvrier et al., 2016). Proposal for a specific aerobic test for football players: The "Footeval". *Journal of sports science & medicine*, 15(4), 670.

### Résumé

**Objectif** : Le but de cette étude était d'évaluer la reproductibilité et la validité du test «Footeval», qui évalue le niveau aérobie des joueurs de football dans des conditions proches de celles de la pratique du football (intermittente, y compris les compétences techniques).

**Méthode** : Vingt-quatre sujets hautement qualifiés d'une académie de football d'élite ( $17,8 \pm 1,4$  ans, 5 séances d'entraînement par semaine) ont effectué deux séances Footeval sur une période de 7 jours. De plus, tous les sujets ont effectué un exercice du temps limite (Tlim) avec une intensité fixée à la vitesse maximale aérobie spécifique +  $1 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ , afin de vérifier la valeur maximale obtenue lors du test Footeval.

**Résultats** : Les variables physiologiques mesurées lors de ces séances ( $\text{VO}_2\text{max}$   $58,1 \pm 5,6$  et  $58,7 \pm 6,2 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ ; RER  $1,18 \pm 0,06$  et  $1,19 \pm 0,05$ ; LaMax  $11,0 \pm 1,4$  et  $10,8 \pm 1,1 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ; FCmax  $194 \pm 6$  et  $190 \pm 7 \text{ b} \cdot \text{min}^{-1}$ ; l'étape finale  $10,71 \pm 1,2$  et  $10,83 \pm 1,13$  et le RPE = 10) ont mis en évidence l'intensité maximale et confirmé que les joueurs ont atteint l'épuisement physiologique. La comparaison des valeurs mesurées dans les deux séances a montré des corrélations importantes (niveau final; 0,92,  $\text{VO}_2\text{max}$ ; 0,79, HRmax; 0,88, LaMax; 0,87) et un ICC élevé (niveau final; 0,93,  $\text{VO}_2\text{max}$ ; 0,87, HRmax; 0,90, LaMax; 0,85) sauf pour RER ( $r = 0,22$ , ICC = 0,21). L'analyse statistique comparant  $\text{VO}_2\text{max}$ , HRmax et RER de l'exercice Footeval et Tlim ont prouvé que les valeurs de Footeval pouvaient être considérées comme des valeurs maximales ( $r$  pour  $\text{VO}_2\text{max}$ ; 0,82, HRmax; 0,77 et ICC pour  $\text{VO}_2\text{max}$ ; 0,92, HRmax; 0,91).

**Conclusion** : Cette étude a montré que le Footeval est un test reproductible qui permet d'obtenir une vitesse maximale aérobie spécifique à l'épuisement physiologique. De plus, nous pouvons également affirmer que ce test répond aux critères d'épuisement physiologique tels que définis dans la littérature ( $RER \geq 1,1$ ;  $LaMax \geq 8 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ;  $HR = HR_{max}$ ; pas d'augmentation de  $VO_2$  malgré l'augmentation de vitesse;  $RPE = 10$ ).

**Etude 11:** (Carminatti et al., 2013). **Intermittent versus continuous incremental field tests: are maximal variables interchangeable?** *Journal of sports science & medicine*, **12(1)**, 165.

### Résumé

**Objectif** : Le but de la présente étude était de comparer les réponses physiologiques dérivées d'un test progressif et intermittent sur le terrain avec un test à vitesse constante, c'est-à-dire un protocole intermittent versus continu.

**Méthode** : Deux tests progressifs (test de Carminatti (T-CAR) et test de Vameval (T-VAM)), caractérisés par une vitesse croissante, ont été utilisés. T-CAR est un test intermittent, tandis que T-VAM est un test continu effectué sur une piste d'athlétisme. Dix-huit sujets jeunes en bonne santé et physiquement actifs ( $21,9 \pm 2,0$  ans;  $76,5 \pm 8,6$  kg,  $1,78 \pm 0,08$  m,  $11,2 \pm 5,4\%$  de graisse corporelle) se sont portés volontaires pour cette étude. Les sujets ont effectué quatre tests menés sur le terrain: deux tests incrémentiels et deux tests de temps jusqu'à épuisement (TTE) à des vitesses de test maximales (PV).

**Résultats** : Aucune différence significative n'a été trouvée pour la PV (T-CAR =  $15,6 \pm 1,2$  ; T-VAM =  $15,5 \pm 1,3$  km.h<sup>-1</sup>) et FC maximale (T-CAR =  $195 \pm 11$ ; T-VAM =  $194 \pm 14$  bpm). Au cours de la TTE, il n'y avait pas de différences significatives pour la FC (TTE<sub>T-CAR</sub> et TTE<sub>T-VAM</sub> =  $192 \pm 12$  bpm). Cependant, il y avait une différence significative de TTE ( $p = 0,04$ ) (TTE<sub>T-CAR</sub> =  $379 \pm 84$ , TTE<sub>T-VAM</sub> =  $338 \pm 58$  s) avec une faible corrélation ( $r = 0,41$ ). La concentration sanguine de lactate mesurée à l'issue des tests TTE, n'a montré aucune différence significative (TTE<sub>T-CAR</sub> =  $13,2 \pm 2,4$  vs TTE<sub>T-VAM</sub> =  $12,9 \pm 2,4$  mmol.l<sup>-1</sup>).

**Conclusion** : Sur la base des résultats actuels, il est suggéré que les variables maximales dérivées de T-CAR et T-VAM peuvent être interchangeables dans la conception des programmes d'entraînement.

**Etude 12** : (Dupont et al., 2010). **Yo-Yo intermittent recovery test versus the Université de Montreal Track Test: relation with a high-intensity intermittent exercise.** *Journal of science and Medicine in Sport*, 13(1), 146-150.

### Résumé

**Objectif** : Le premier objectif de cette étude était de déterminer si la vitesse de pointe (V Yo-Yo) atteinte lors du test de récupération intermittente (Yo-Yo) et la vitesse maximale aérobie (VMA) déterminée à partir du test de piste de l'Université de Montréal (UMTT) sont interchangeable. Le deuxième objectif était de vérifier que le V Yo-Yo est liée à la performance d'exercice intermittent, qui consistait en des courses répétées d'une distance de 90 m en 15s effectuées jusqu'à l'épuisement, alternées avec 15s de récupération passive (15/15).

**Méthode** : Quatorze footballeurs amateurs ont effectué, dans un ordre aléatoire, le 15/15 et deux tests supplémentaires sur le terrain: le Yo-Yo et l'UMTT.

**Résultats** : Les résultats de cette étude ont montré que la VMA était significativement corrélée au V Yo-Yo ( $r = 0,79$ ,  $p < 0,01$ ). Cependant, l'erreur n'était pas constante, lorsque les valeurs V Yo-Yo et VMA étaient supérieures à 16,3 km h<sup>-1</sup>, les valeurs de VMA ont tendance à être supérieures au V Yo-Yo, tandis que lorsque le V Yo-Yo et le Les valeurs de VMA étaient inférieures à 16,3 km.h<sup>-1</sup>, les valeurs de VMA ont tendance à être inférieures au V Yo-Yo. VMA et V Yo-Yo étaient significativement corrélées au temps d'épuisement du 15/15 ( $r = 0,74$  et  $r = 0,72$ , respectivement) et montrent que les deux tests sont également liés à la performance d'exercice intermittent de haute intensité.

**Mots clés** : Exercice intermittent, football, test de terrain, performance.



## Conclusion

---

Sur la base de la vérification de l'ensemble des études similaires : protocole du test, discipline visée, travaux expérimentaux et applications pratiques ; nous avons conclu que tous les tests poursuivent les mêmes objectifs: validité, reproductibilité, analyse et détection des éléments les plus performants, ainsi que chaque étude se distingue par des spécificités qui respectent les exigences de la discipline pratiquée dans le choix du protocole du test. Cependant, aucune étude n'a réellement proposé un test intermittent et spécifique aux athlètes de demi-fond pour évaluer la performance d'endurance. C'est pourquoi, l'objectif de cette étude est de proposer un test de terrain intermittent qui permet de mesurer la VMA dans des conditions proches du mode d'entraînement des coureurs de demi-fond. Il paraît légitime de s'interroger sur le fait que ce test soit le plus proche possible du modèle d'effort (entraînement) du demi-fond. Il ressemble donc à un rapport temps de travail / temps de récupération (exercice intermittent) en adéquation avec les fondamentaux rapportées dans la littérature (Brandon, 1995; Padilla et al., 1992; Rabadán et al., 2011).

---

**PREMIERE PARTIE :**  
**REVUE DE LA LITTÉRATURE**

## CHAPITRE I

# LE DEMI-FOND ET SES DETERMINANTS

### Présentation du chapitre I

---

*Les humains sont des sprinteurs médiocres. Cependant, ils sont des coureurs en endurance remarquables (Bramble & Lieberman, 2004).*

#### 1. Contexte historique

#### 2. La caractérisation de la course de demi-fond

#### 3. Mécanismes énergétiques au cours de la course de demi-fond

3.1. La production d'énergie pendant la course

3.2. L'intensité de l'exercice

#### 4. Les déterminants physiologiques de performance en course de demi-fond

4.1. La capacité aérobie

4.1.1. La consommation maximale d'oxygène ( $VO_{2max}$ )

4.1.1.1. Relation entre  $VO_{2max}$  et la performance

4.1.2. La puissance maximale aérobie (PMA)

4.1.3. L'endurance aérobie (EA)

4.1.3.1. L'index d'endurance (IE)

4.1.3.2. L'indice d'endurance aérobie (IEA)

4.2. L'économie de course

4.3. Le seuil anaérobie

#### 5. Le contenu d'entraînement

5.1. L'endurance

5.1.1. Définition de l'endurance

5.1.2. Les différentes formes d'endurance

5.1.3. Développement de l'endurance en demi-fond

5.1.4. Effets de l'entraînement en endurance

5.2. Les exercices intermittents

- 5.2.1. Les principes de l'exercice intermittent
- 5.2.2. Les exercices intermittents, logiques pour l'entraînement de demi-fond
- 5.2.3. Les exercices intermittents et la VMA
- 5.2.4. Les effets de l'entraînement intermittent
- 5.2.5. Modifications dans les performances sportives après un entraînement basé sur des exercices d'intermittents.
- 5.2.6. Approche comparative : intermittent vs continu

## **1. Contexte historique**

Les événements de course ne sont pas des créations modernes. Cela bien évidemment, n'est pas surprenant puisque nous, les êtres humains, nous sommes capables de courir depuis toujours, développant ainsi cette activité. En fait, les premières épreuves de course de demi-fond ont eu lieu dès les jeux olympiques antiques considérés comme la plus importante manifestation sportive de l'antiquité (Swaddling, 1999).

Le premier événement d'athlétisme a eu lieu pour la 1<sup>ère</sup> fois aux jeux olympiques de 1896 (Grèce). Il s'agissait de parcours de 800 m et 1500 m. Par la suite, une course de 5000 m a été ajoutée, ainsi qu'une course de 3000 m steeple (une discipline originaire de Grande-Bretagne au 19<sup>ème</sup> siècle). Bien que la course de 100 m est l'épreuve de course à pied la plus célèbre au monde (Maćkała et al., 2015) et que le marathon est probablement la course la plus connue (Billat, 2018), la course d'un mile (1609m) a une histoire légendaire. Cette épreuve a reçu le titre de noblesse à la fin du 19<sup>ème</sup> siècle lorsque la course à pied est devenue un des sports les plus populaires en Angleterre. Par la suite, de grands coureurs comme l'Australien Herb Elliott, le Britannique Sebastian Coe ou encore l'Algérien Noureddine Morceli et le Marocain Hicham El Guerrouj, ont contribué à rendre cette distance légendaire. À l'heure actuelle, la course de demi-fond est de plus en plus populaire dans le monde entier, avec l'arrivée des stars qui ont réalisé des records phénoménaux. Bien qu'une ligne d'arrivée existe à la fin de chaque course, il est sûr que les humains n'arrêteront jamais de courir.

## **2. La caractérisation de la course de demi-fond**

Les courses de demi-fond font partie de la discipline d'athlétisme ce qui donne encore plus de la richesse à ce sport. Cependant, il n'y a pas une unanimité dans la littérature sur les fourchettes de distance de cette discipline. Di Prampero et al. (1986) définit la course de demi-fond comme des épreuves entre 800 et 5000 m, de 800 à 3000 m (Blagrove et al., 2018; Brandon, 1995), de 800 à 10km (Daniels & Daniels, 1992). La course de demi-fond repose à la fois sur deux systèmes de production d'énergie : aérobie et anaérobie (Brandon & Boileau, 1992; Lacour et al., 1990; Rabadán et al., 2011). Ce qui suit expliquera ces deux considérations en détail.

## **3. Mécanismes énergétiques au cours de la course de demi-fond**

Le coureur de demi-fond est caractérisé par un certain nombre de qualités anatomiques, physiologiques et psychologiques. D'un point de vue physiologique, cette épreuve est qualifiée d'effort supra-maximal car l'athlète développe une puissance supérieure à la

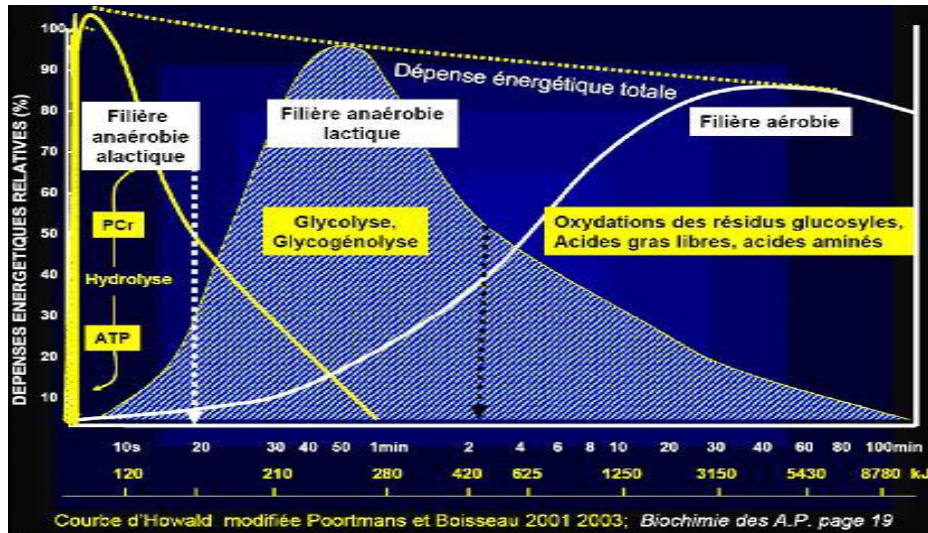
puissance maximale aérobie (Di Prampero et al., 1993). Les exigences physiologiques de la course de demi-fond peuvent être obtenues en considérant: 1) La production d'énergie pendant la course 2) L'intensité de l'exercice.

### ***3.1. La production d'énergie pendant la course***

Les coureurs de demi-fond sont dans la plupart des cas capables de concourir dans des épreuves de course plus courtes ou plus longues. Les distances qui nécessitent jusqu'à 15 minutes dépendent sur le métabolisme aérobie et anaérobie (Boileau et al., 1982; Mahon et al., 1996). Le système énergétique ATP-CP fournit de l'énergie pendant les 10 premières secondes de l'exercice. Dès 10 secondes à environ 3 minutes, la principale source de l'énergie est dérivée de la glycolyse. Le système énergétique aérobie prédomine au fur et à mesure que la durée de l'exercice progresse (Prévost & Reiss, 2019).

Une course de 800m dépend d'environ 40% de l'énergie aérobie et 60% de l'énergie anaérobie (Boileau et al., 1982), environ 50/50 pour une course de 1500m (Ingham et al., 2008). Cela montre que la contribution de système d'énergie anaérobie est importante pour les moyennes distances.

Il est important de souligner l'interaction des voies métaboliques anaérobies et aérobies dans la re-synthèse de l'ATP pendant l'exercice. Lors de la course à pied, la contribution de chaque parcours diffère selon l'intensité et la durée de la course (Figure 01). Plus le temps de la course augmente, la production d'énergie aérobie (c'est-à-dire la phosphorylation oxydative) augmente. Par conséquent, la contribution de voie anaérobie est plus grande (90%) dans les épreuves de courte distance telles que le 100m (Åstrand et al., 2003). Inversement, la voie aérobie prédomine (94%) dans les courses de longues distances telles que le marathon (Boileau et al., 1982). Les coureurs de demi-fond, donc, se distinguent des coureurs de fond et de sprint par un profil physiologique qui incluent une variété de capacités aérobies et anaérobies.



**Figure 01 :** Les filières énergétiques et leur délai d'intervention (adapté de Howald)  
(Poortmans & Boisseau, 2017)

### 3.2. L'intensité de l'exercice

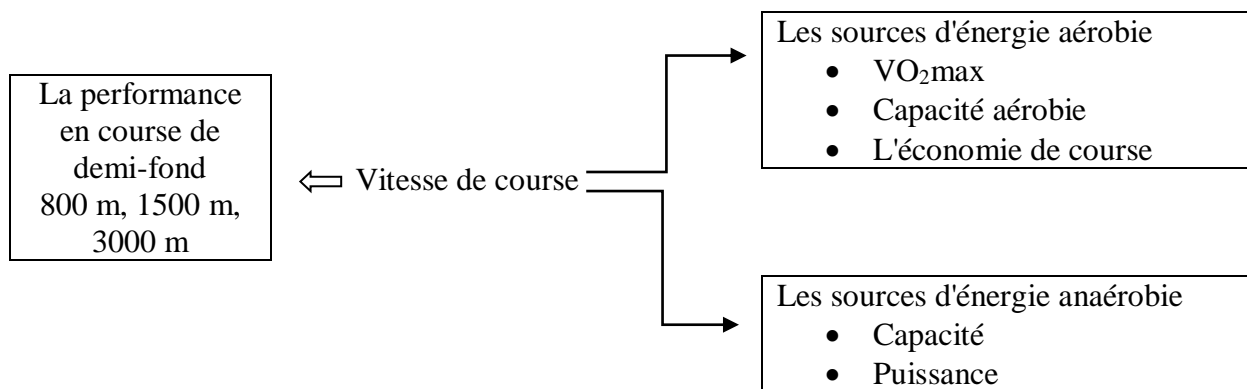
Le concept d'intensité dans la course à pied est plus difficile à cerner. Cependant, nous disposons de critères objectifs (%  $VO_2$ max, % FCmax, % VMA, RPE...etc) permettant de mieux saisir ce concept. L'intensité est décrite par un % de l'effort maximale possible, et les termes sous-maximal et supra-maximal sont souvent utilisés pour représenter l'intensité de l'exercice en dessous et au-dessus de la VMA respectivement (Billat et al., 2001). La connaissance de l'intensité, la durée et les besoins énergétiques peut aider à identifier les principaux mécanismes physiologiques qui sont les plus susceptibles d'influencer les performances de course. En conséquence, le statut physiologique des coureurs de demi-fond a été évalué pour déterminer ces caractéristiques physiologiques, et le % de VMA est d'une utilité primordiale pour fixer les intensités d'entraînement dans différentes disciplines de course à pied à dominante aérobie (Dupont et al., 2002).

**Tableau 01** : Impacts physiologiques obtenus par les différents % de VMA (Cazorla, 2010)

% de VMA	Effets recherchés
50 à 55	Récupération active après un exercice lactique
55 à 65	Échauffement avant un entraînement. Sans effet sur le développement de la capacité aérobie
65 à 75	Endurance modérée
75 à 85	Développement de l'endurance spécifique
85 à 100	Développement de la puissance aérobie maximale et de l'endurance lactique
100 à 130	Développement de la puissance aérobie maximale

#### 4. Les déterminants physiologiques de la performance en course de demi-fond

Les variables physiologiques associées à la capacité aérobie (telles que le  $VO_2\max$ , la VMA, l'endurance aérobie, l'économie de course) et le seuil anaérobie sont les principaux facteurs de performance en demi-fond (Berryman et al., 2018; Brandon, 1995).



**Figure 02** : Modèle de déterminants physiologiques pour la course de demi-fond (Brandon, 1995)

##### 4.1. La capacité aérobie

Elle représente la quantité totale d'énergie potentielle susceptible d'être fournie par la voie oxydative (Amoretti et al., 2020). Comme elle dépend des réserves totales de substrats utilisables (carburant de l'organisme): glycogène, glucose circulant, acides gras libres, voire même dans certaines circonstances, acides aminés, et bien sûr, de la totalité de l'oxygène utilisé pour leur combustion. L'évaluation directe de la capacité aérobie est impossible. Par



contre on peut indirectement en apprécier l'importance par l'évaluation de ses deux composantes que sont : le  $VO_2\text{max}$ , la puissance ou vitesse maximale aérobie associée, et l'endurance aérobie (Cazorla, 2004)

#### ***4.1.1. La consommation maximale d'oxygène ( $VO_2\text{max}$ )***

Les premiers travaux sur la notion : consommation maximale d'oxygène ( $VO_2\text{max}$ ) ont montré qu'il existait une limite à la consommation d'oxygène au cours d'un exercice maximal (Hill & Lupton, 1923). Sur le plan physiologique, le  $VO_2\text{max}$  fût le premier facteur déterminant de la performance en demi-fond (Bassett & Howley, 2000). Ce terme correspond à la vitesse au dessus duquel la consommation d'oxygène n'augmente plus (Åstrand et al., 2003), et l'efficacité du système circulatoire à utiliser et transporter l'oxygène jusqu'à la cellule musculaire pour la synthèse de l'ATP (Billat et al., 2000). Ce système est nécessaire à la contraction des fibres musculaires pour les efforts d'endurance. C'est pourquoi le  $VO_2\text{max}$  reflète les potentialités aérobie d'un athlète. Cette valeur de référence peut être exprimée soit en  $\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$  (valeur relative au poids) soit en  $\text{l.min}^{-1}$  (valeur absolue) et à laquelle correspond la puissance maximale aérobie (PMA) exprimée en watts, ou la vitesse maximale aérobie (VMA) exprimée en  $\text{km.h}^{-1}$ .

La mesure du  $VO_2\text{max}$  se fait depuis longtemps parce qu'elle est un facteur limitant de la performance en particulier la discipline du demi-fond (Joussellin et al., 1990). Cette mesure s'effectue à l'aide de différents appareils : le sac de Douglas, analyseur portable de type Cosmed K4b<sup>2</sup> (Cosmed, Rome, Italie) ou encore le K4 GPS. Ainsi, il a été rapporté qu'une valeur élevée du  $VO_2\text{max}$  serait nécessaire pour réaliser des performances élevées dans les courses de demi-fond (Bassett & Howley, 2000). En effet, le  $VO_2\text{max}$  chez Les coureurs de fond élités masculins varie entre 70 à 85  $\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$  selon le niveau alors que chez les athlètes féminines il est de 60 à 75  $\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$  (Jones, 2006; Svedenhag & Sjödén, 1985). Les valeurs typiques du  $VO_2\text{max}$  rapportées chez les coureurs d'élite de demi-fond sont présentées dans le tableau 02.

**Tableau 02** : Les valeurs du VO<sub>2</sub>max chez les coureurs d'élite de demi-fond

Auteurs	Distance (mètre)	VO <sub>2</sub> max (ml.kg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )
(Boileau et al., 1982)	3000	76.9
(Svedenhag & Sjödén, 1985)	1500	71.9
(Joussellin et al., 1990)	1500	75.5
(Daniels & Daniels, 1992)	800 m - 1500	72.5
(Nevill et al., 2003)	800 m - 1500	75.8
(Ingham et al., 2008)	800	77.4

Le VO<sub>2</sub>max varie avec l'âge, étant à son maximum à 20 ans, se stabilisant jusqu'à 30 ans pour décroître progressivement et ne plus représenter à 60 ans que 70% de cette valeur. Cette régression, indépendante du sexe, peut être retardée par un entraînement régulier en endurance (Billat, 1991).

La détermination du VO<sub>2</sub>max peut être directe ou indirecte. Dans le 1<sup>er</sup> cas, la mesure du VO<sub>2</sub>max demande un test maximal avec recueillement des gaz expirés par le coureur. Toutefois, de nombreux coureurs et entraîneurs, y compris de haut niveau, ne souhaitent pas réaliser ou faire réaliser régulièrement ce genre de tests. En effet, l'appareillage nécessaire est coûteux et ne permet la mesure que d'un sujet à la fois, ce qui en pratique quotidienne d'entraînement pose des limites, surtout s'il faut se rendre dans un laboratoire spécialisé (Berthoin et al., 1994; Paradisis et al., 2014). Dans le second cas, il s'agit de tests sous-maximaux ou maximaux et les valeurs du VO<sub>2</sub>max sont extrapolées à partir de la relation linéaire liant VO<sub>2</sub> avec la fréquence cardiaque et la vitesse de course (Billat, 1998; Prévost & Reiss, 2019). Il a été documenté que les indices supplémentaires d'atteinte du VO<sub>2</sub>max sont: une fréquence cardiaque de fin d'effort supérieure à 90% de la fréquence cardiaque maximale théorique (Rochcongar & Monod, 2009), une lactatémie supérieure à 9 mmol.l<sup>-1</sup> chez l'adulte et 8 mmol.l<sup>-1</sup> chez l'enfant et un quotient respiratoire supérieure ou égale à 1.05 (Léger et al., 2001).

#### 4.1.1.1. Relation entre $VO_2max$ et la performance

Le  $VO_2max$  est le facteur le plus discriminant de la performance dans les sports d'endurance (Billat, 2001). Cependant, la relation entre le  $VO_2max$  et la performance de course est un sujet à débat (Brandon, 1995). En effet, de nombreuses études ont démontré que le  $VO_2max$  n'est pas fortement associé aux performances de course voire non significative (Kumagai et al., 1982; Morgan, Baldini, et al., 1989). D'autres auteurs notent une forte corrélation entre ces deux variables (Brandon & Boileau, 1987; Powers et al., 1983). De manière générale, la relation augmente en même temps que la distance de course augmente (tableau 03). Cette constatation reflète une contribution importante de la production d'énergie aérobie lorsque la distance de course augmente. Néanmoins, il faut noter que cette relation diminue lorsque la distance est supérieure à 10km car la performance sur longue distance ne prend non seulement en compte le  $VO_2max$ , mais également la capacité à courir pendant plus d'une heure en utilisant d'autres substrats énergétiques telles que le sucre et la graisse (Kumagai et al., 1982). Par ailleurs, à  $VO_2max$  égal, la performance est dépendante de l'économie de course, du seuil anaérobie et du seuil ventilatoire (Zacharogiannis & Farrally, 1993).

**Tableau 03** : Lien entre le  $VO_2max$  et la performance sur différentes distances

Auteurs	Distance	$VO_2max$ ( $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ )	Corrélation
(Brandon & Boileau, 1987)	800m-1500m	62.7 & 62.7	-0.61 & -0.72
(Berg & Bell, 1980)	Mille	60.4	-0.48
(Ramsbottom et al., 1992)	5000m	60	-0.89
(Brandon & Boileau, 1987)	10.000m	67	-0.79
(Billat, 2001)	42195	73.4	-0.77

#### 4.1.2. La puissance maximale aérobie (PMA)

La PMA est la quantité maximale d'oxygène qu'un organisme peut utiliser par unité de temps au cours d'un exercice musculaire intense. Elle correspond au  $VO_2max$  est exprimée en watts. Il existe une relation linéaire entre la puissance développée et la consommation d'oxygène (Praagh et al., 2001). En effet, le  $VO_2$  n'augmente plus à partir d'une certaine intensité. Le

sujet atteint alors son  $VO_2\text{max}$  et la puissance achevée est considérée de puissance maximale aérobie (Léger et Cazorla, 2006).

#### 4.1.3. L'endurance aérobie (EA)

L'endurance aérobie est la fraction ou le pourcentage du  $VO_2\text{max}$  ou de la puissance maximale aérobie ou encore de la vitesse aérobie maximale susceptible d'être maintenu au cours d'une épreuve d'une durée donnée (Cazorla, 2004). L'évaluation de l'endurance aérobie nécessite donc de connaître préalablement ces paramètres physiologiques. Par exemple courir pendant une durée ou une distance : 3000 m, 5000 m, un semi-marathon ou un marathon et calculer ensuite à quel pourcentage moyen de la VMA correspond la performance réalisée, ou bien fixer un pourcentage de la VMA (80%, 90%, 100%) et chronométrer la durée maintenue à cette vitesse (tableau 04). C'est ce qu'on appelle le temps limite à VMA (tlim à VMA) (Billat et al., 2011).

**Tableau 04** : Synthèse des principales études évaluant le temps limite de maintien d'un % de VMA

Etudes	Participants	% de VMA	Tlim (min)
(Léger et al., 1986)	311 coureurs	100%	7
(Lacour et al., 1990)	27 coureurs de demi-fond	100%	8.7
(Ramsbottom et al., 1992)	16 coureurs	Homme 90%	18.7
		Femme 82%	21.8
(Padilla et al., 1992)	38 coureurs de demi-fond	Homme 100%	8.4
		Femme 100%	7
(Billat, Faina, et al., 1996)	9 coureurs de demi-fond et de fond	100%	5.35
(Billat et al., 2003)	8 coureurs de fond	100%	8.05
(Assadi & Lepers, 2012a)	18 sportifs	95%	5.51

Parmi les meilleures techniques appliquées pour évaluer l'endurance aérobie nous ne citons celles utilisant l'index d'endurance de Péronnet et Thibeau (1987) et l'indice d'endurance aérobie de Cazorla (1990).

#### 4.1.3.1. L'index d'endurance (IE)

Péronnet et Thibault (1987) considèrent l'endurance comme une qualité propre à chaque individu et ont développé le concept de l'index d'endurance. Ce modèle est basé sur la durée limite du maintien de course à des pourcentages différents de la PMA ou la VMA. Dans ce cas la relation % de VMA-temps limite est totalement linéaire. L'endurance peut être calculée selon l'équation proposée par les auteurs :

$$IE = (100 - \% VAM) / (\ln 7 - \ln t)$$

Où  $\ln 7$  représente le logarithme de 7min,  $\ln t$  est la durée limite de maintien de la VMA exprimée en minute. Les auteurs ont proposé une échelle d'appréciation, plus la pente décroissante est faible (exprimée par un chiffre négatif), meilleure est l'endurance (tableau 05).

**Tableau 05:** Niveau d'endurance à partir du calcul de l'index d'endurance (d'après Péronnet et al.1991)

Endurance	Très élevée	Elevée	Moyenne	Faible	Très faible
Indice d'endurance	-4	-6	-8	-10	-12

#### 4.1.3.2. L'Indice d'endurance aérobie (IEA)

Cazorla (1990) propose un indice au calcul plus accessible. Pour obtenir cet indice il propose d'abord de mesurer la VMA et ensuite d'enregistrer la vitesse moyenne courue pendant une distance, ce qui représente :

$$IEA = \text{Vitesse moyenne} / \text{VMA} \times 100$$

Plus le % obtenu aller vers 100 meilleure et l'endurance spécifique du l'athlète. Prenons un exemple d'un athlète dont la VMA a été calculée à 20 km.h<sup>-1</sup> et qui arrive à parcourir 5000 m à 16'. Son IEA est :

$$IEA : 18,7/20 \times 100 = 93 \%$$

#### **4.2. L'économie de course**

Bien que le  $VO_2\text{max}$  représente un déterminant important de la performance, le terme économie de course (EC) est défini comme le coût en oxygène ou en énergie pour courir à une vitesse sous-maximale donnée ou mieux, à un pourcentage donné de la VMA ou du  $VO_2\text{max}$  (Daniels, 1985; Ingham et al., 2008). L'athlète qui présente le meilleur rendement c'est celui qui dépensera le moins d'énergie sur une distance donnée à une vitesse donnée. À vitesse égale, les coureurs avec une bonne EC utilisent moins d'oxygène que les coureurs avec une faible EC (Barnes & Kilding, 2015). De ce fait, Saunders et al. (2010) rapportent de variation interindividuelle de l'EC allant jusqu'à 30% du  $VO_2\text{max}$  dans un groupe de coureurs homogènes, et confirment que les améliorations de l'EC semblent être étroitement liées à l'amélioration de la performance. Il a également été démontré que l'EC est un indicateur utile des performances dans les courses d'endurance par rapport au  $VO_2\text{max}$  (Conley & Krahenbuhl, 1980; Costill et al., 1973; Morgan, Baldini, et al., 1989; Morgan et al., 1989). En effet, les coureurs de demi-fond et de fond africains dominent la scène internationale, car ils possèdent une EC supérieur à leurs homologues européens et nord-américains (Larsen & Sheel, 2015; Wilber & Pitsiladis, 2012).

La mesure de l'EC se fait habituellement en laboratoire sur un tapis roulant à l'aide d'un dispositif d'échange de gaz pulmonaire (même procédure que pour mesurer le  $VO_2\text{max}$ ) à diverses vitesses pendant une durée suffisamment longue (3 à 15 min) (Morgan et al., 1989), en interpolant le  $VO_2$  à une vitesse de course. L'EC est exprimée par rapport à la masse corporelle par minute ( $\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ ) ou par le volume total d'oxygène nécessaire pour courir un kilomètre par rapport à la masse corporelle ( $\text{ml.kg}^{-1}.\text{km}^{-1}$ ) (Foster & Lucia, 2007), d'autres utilisent le coût unitaire calorique ( $\text{kcal.kg}^{-1}.\text{km}^{-1}$ ) (Fletcher et al., 2009, 2010). Généralement, les coureurs entraînés de longues distances ont une meilleure EC que les coureurs non-entraînés (Morgan et al., 1995). Les valeurs l'EC apparaissent dans la littérature comprises entre 160 et 240  $\text{ml.kg}^{-1}.\text{km}^{-1}$  chez les sportifs entraînés (Poortmans & Boisseau, 2017). À titre d'exemple, l'érythréen Zersenay Tadesse (ancien recordman de semi-marathon en 2010) son EC a été mesurée à 150  $\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$  à une vitesse de 19  $\text{km.h}^{-1}$  (Barnes & Kilding, 2015). Enfin, l'amélioration l'EC est influencée par des caractéristiques anatomiques et physiologiques propres à l'athlète (Williams & Cavanagh, 1987) et peut être développée par un entraînement adéquat (Foster & Lucia, 2007).

### **4.3. Le seuil anaérobie**

La concentration du lactate est un indicateur fréquemment utilisé pour savoir si l'exercice a été réalisé de façon maximale (Howley et al., 1995). Pendant l'exercice, les demandes métaboliques dépassent la capacité aérobie. La concentration sanguine de lactates, issue de la glycolyse, est utilisée pour compléter la capacité aérobie. Cela conduira à une augmentation de la production de lactate et évolue avec l'augmentation de l'intensité d'exercice (Meyer et al., 2005). De ce fait, le seuil anaérobie (SA) représente généralement l'intensité de travail par laquelle la concentration de lactate sanguin dépasse les niveaux de repos (Billat, 1996). Au niveau du seuil anaérobie, la quantité de lactate diffusée dans le sang est égale à la quantité de lactates qui en sort (Svedahl & MacIntosh, 2003).

Plusieurs termes et approches alternatifs ont été développés pour fournir une estimation de ce fameux seuil anaérobie, notamment: début de l'accumulation de lactate plasmatique (Farrell et al., 1979), seuil anaérobie individuel (Stegmann et al., 1981), seuil de lactate (Coyle et al., 1983), et seuil ventilatoire (Powers et al., 1983). Cependant, on peut regrouper les modèles les plus utilisés dans la littérature en deux catégories. La première se caractérise par un état stable maximal de lactate où on remarque la première apparition de la concentration sanguine en parallèle avec l'exercice en comparaison avec la valeur de repos (Meyer et al., 2005). Ce seuil est fixé dans la plage des valeurs comprises entre 2,2 à 3 mmol·L<sup>-1</sup> (Bosquet et al., 2002). Le second seuil correspond à l'intensité maximale qui peut être atteint sans l'augmentation continue de la concentration de lactate dans le sang et dans le muscle (Åstrand et al., 2003). Généralement, ce seuil est associé à une valeur de 4 mmol·L<sup>-1</sup> (Heck et al., 1985; Sjödin & Jacobs, 1981). En effet, Grant et al. (1997) ont confirmé que la vitesse au seuil de lactate (4 mmol·L<sup>-1</sup>) s'est avérée le meilleur indicateur de performance de course sur une distance de 3 km. Bien que la fréquence, la durée et l'intensité de l'exercice entraînent une variabilité du seuil, les niveaux de lactate commencent à augmenter au-dessus des niveaux de base à des intensités de travail comprises entre 50% et 90% du VO<sub>2</sub>max (MacRae et al., 1992).

L'un des principaux objectifs de l'estimation du SA est de pouvoir déterminer le rythme de course pendant la course d'endurance. D'ailleurs, il a été démontré que la SA est bien corrélé aux performances de course. Tanaka et Matsuura (1984) ont rapporté une forte corrélation (0,80) entre le SA et la performance de course sur 10km. L'étude de Maffulli et al. (1991) a montré une corrélation entre le SA et la vitesse de course pour les épreuves de moyenne

distance (800 m - 3000 m). Kenney & Hodgson (1985) ont constaté que le SA représentait 77% de la variance de la performance de 3000 m steeple.

## **5. Le contenu d'entraînement**

Si les critères d'évaluation de la capacité aérobie (décrits au chapitre I, section 4) sont actuellement bien maîtrisés, le contenu d'entraînement des athlètes de demi-fond est un catalogue de séances qui s'appuie sur la réalité de la pratique quotidienne. De plus, pour mener à bien l'entraînement des athlètes de demi-fond, il est indispensable de connaître parfaitement les deux termes les plus fréquemment utilisés dans cette discipline : l'endurance et les exercices intermittents. Dans le cadre de cette thèse nous allons nous intéresser à ces deux éléments tout au long de cette partie parce que l'entraînement de demi-fondeurs repose beaucoup plus sur le développement de la qualité d'endurance (Berryman et al., 2018), et souvent à l'aide des exercices intermittents (Brandon, 1995).

### **5.1. L'endurance**

L'endurance est une qualité cruciale dans la performance en demi-fond (Esteve-Lanao et al., 2005). Elle est spécifique à la discipline voire à l'individu. L'endurance du marathonien est différente de celle du footballeur et même parmi les sujets d'une même discipline, car les participations énergétiques de chaque sportif sont individuelles (Prévost & Reiss, 2019). Le développement de l'endurance soumis à des différentes méthodes qu'il convient de bien connaître.

#### **5.1.1. Définition de l'endurance**

La notion d'endurance est très difficile à définir clairement. D'une façon générale, elle représente tout effort qui se prolonge dans le temps (Billat, 1998). Nous notons plusieurs définitions selon la discipline et les objectifs de travail. Pradet (1997) définit l'endurance comme la faculté de réaliser des actions motrices pendant une durée maximale, tandis que Weineck (1997) considère l'endurance comme la capacité psychique et physique que possède l'athlète à résister à la fatigue. En rapport avec notre travail et l'objectif souhaité, nous proposons d'utiliser le terme endurance aérobie utilisé par Cazorla (2004): % VO<sub>2</sub>max, PMA ou encore VMA (voir chapitre I, section 4.1.3).



### 5.1.2. Les différentes formes d'endurance

L'effort physique ne se diffère pas uniquement par leur durée, l'intensité ou par les filières énergétiques. Il peut également être réparti en fonction de % de la masse musculaire qu'il sollicite. Plus globalement on distingue trois types d'efforts (Pradet, 1997; Prévost & Reiss, 2019) :

- Endurance générale: sollicite plus de 2/3 de masse musculaire d'un athlète ;
- Endurance régionale: où moins de 2/3 des masses musculaires sont sollicités ;
- Endurance locale: sollicite moins de 1/3 de masse musculaire.

La connaissance de ces types est très importante pour le développement de l'endurance. En effet, l'endurance générale entraîne de grandes modifications dans le fonctionnement du métabolisme de l'athlète, et plus particulièrement aux systèmes cardiaque, ventilatoire et circulatoire. Au contraire, l'endurance régionale et locale n'apporteront que des adaptations au niveau de système sollicité. En comparaison avec d'autres périodes d'entraînement, ce type d'endurance n'occupera qu'une place secondaire à l'approche des compétitions (Pradet, 1997).

**Tableau 06:** Les formes d'endurance et critères mis en jeu (d'après Ferré et Leroux, 1995)

Qualités d'endurance			
	Qualités		Critères
Endurance :	- Locale - Générale	↔	Musculature concernée
Endurance :	- Statique - Dynamique	↔	Type de contraction musculaire
Endurance :	- Force - Vitesse	↔	Qualité physiques
Endurance :	- Aérobie - Anaérobie	↔	Processus énergétiques
Endurance :	- Courte durée - Moyenne durée - Longue durée	↔	Durée de l'effort
Endurance :	- Spécifique - Générale	↔	Discipline pratiquée

### ***5.1.3. Développement de l'endurance en demi-fond***

L'endurance est une qualité physique liée au développement du processus aérobie. Les coureurs de demi-fond doivent développer l'endurance en prenant compte l'énergie requise dans cette discipline. Si chez le débutant, la course en endurance est l'unique moyen d'entraînement et représente 100% du temps, elle représente encore jusqu'à 75-80% de l'entraînement du coureurs d'élite (Sordello, 2019). Quels que soient les méthodes d'entraînement utilisées, la connaissance de la VMA est toujours indispensable pour fixer les charges utiles des athlètes de demi-fond. L'intensité s'exprime en pourcentages de VMA (Cazorla, 2004) :

- Intensité infra-maximale : en dessous de la VMA ;
- Intensité maximale : correspondant à la VMA (100% de VMA) ;
- Intensité supra-maximal : au-dessus de la VMA.

Les procédés de développement de l'endurance se distinguent par leurs types d'exercices. Nous présentons les propositions de Pradet (tableau 07) :

**Tableau 07** : Principales caractéristiques permettant le développement de l'endurance (adapté de Pradet, 1997)

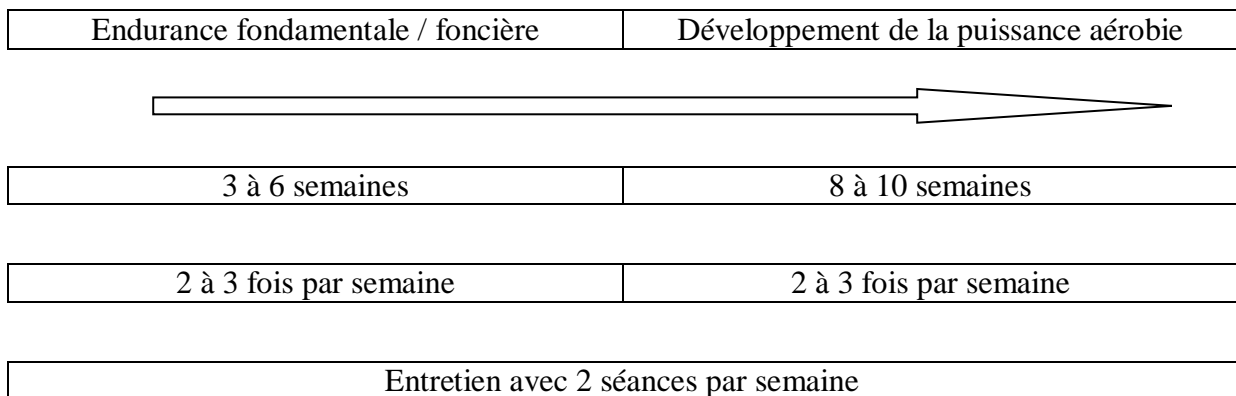
<b>Intensité de l'effort</b>	<b>Durée de l'effort</b>	<b>Durée de la récupération</b>	<b>Nature de la récupération</b>	<b>Quantité de travail</b>
<b>Endurance fondamentale</b>				
Autour de 60-70% de la VMA	De 30 min à 1 heure	Aucune	Etirement diététique adaptée	3 fois par semaine
<b>Efforts continus</b>				
80-100% de la VMA	Entre 4 à 6 min environ 100% de VMA et 20 à 30 min quand l'intensité diminue	Généralement pas de récupération mais s'adapter à l'effort		
<b>Efforts intermittents de longue durée</b>				
Entre 95-110% de la VMA	De 1 à 3 min	De 2 à 3 min alternance de durées d'effort et de récupération identiques	Active, pour maintenir une valeur FC élevée	5 à 6 répétitions au minimum
<b>Efforts intermittents de durée moyenne</b>				
Entre 105-120% de la VMA	De 10 s à 1 min	De 10 s à 2 min 30 s	Active	12 à 15 répétitions au minimum
<b>Efforts intermittents de courte durée</b>				
Maximale orientée vitesse	5 à 10 s	25 à 50 s	Active	2 à 3 séquences au minimum 10 min dans la même séance

Alain Smail (Smail, 2009) (entraîneur en athlétisme) propose de fixer l'intensité des exercices des athlètes de demi-fond à partir de l'objectif souhaité (rythme spécifique) comme dans l'exemple suivant :

- Epreuve et objectif : 1 500 m en 4:15 = 255 s.
- Rythme spécifique sur 100 m :  $255 \text{ sec} / 15 = 17 \text{ sec}$  par 100 m.
- Rythme spécifique sur 400 m :  $17 \text{ sec} \times 4 = 68 \text{ sec}$  par 400 m.
- Rythme spécifique sur 1 km :  $17 \text{ sec} \times 10 = 170 \text{ sec}$  par 1 000 m (2:50 min/km).

Le rythme spécifique des distances d'entraînement calculé à partir de l'objectif de l'athlète est la référence pour développer l'endurance spécifique dans ce modèle.

Récemment, un nouveau principe de développement de l'endurance est proposé par Prévost & Reiss, (2019): le principe d'équivalence (figure 03). Selon les auteurs, toutes les méthodes ont une influence à une des étapes du  $\text{VO}_2\text{max}$  ou du transport de l'oxygène. En effet, la capacité va influencer les transporteurs de l'oxygène et par conséquent la puissance de son utilisation. De ce fait, il faut jouer sur tous les facteurs de transport de l'oxygène et préférer la dominante par rapport à l'activité.



**Figure 03** : Développement des aspects de l'endurance (d'après Prévost & Reiss, 2019)

#### 5.1.4. Effets de l'entraînement en endurance

L'entraînement en endurance va créer le socle fondamental et les conditions générales pour augmenter la charge d'entraînement en termes de volume et d'intensité grâce à ses nombreux effets (Sordello, 2019) :

- Hypertrophie du cœur ;
- Augmentation du débit cardiaque ;
- Diminution de la fréquence cardiaque au repos et pour un même effort ;

- Augmentation du nombre de capillaires et meilleur vascularisation ;
- Augmentation du nombre de mitochondries, véritables chaudières de l'énergie cellulaire ;
- Augmentation du nombre des globules rouges ;
- Augmentation du VO<sub>2</sub>max ;
- Renouvellement plus rapide de l'ATP ;
- Meilleur recyclage des lactates ;
- Meilleure récupération ;
- Soutenir une charge d'entraînement plus importante en volume comme intensité ;
- Renforcement musculaire, tendineux, osseux et articulaire ;
- Meilleure utilisation des lipides comme source d'énergie ;
- Contrôle du poids ;
- Amélioration de la thermorégulation.

### **5.2. Les exercices intermittents**

Cet exercice est né à la fin des années 1930 par un cardiologue Allemand, le Professeur Reindell. A cette époque cette pratique était appelée «Interval-Training». Le recordman du monde, Pavo Nurmi, des années 1930 sur 5 km en 14 minutes 36 secondes réalisait dans une séance de footing de 10 à 20 km des répétitions de 6 x 400 mètres en 1min (Billat, 2001). Au début des années 50, un entraîneur (Stampfl) a proposé une séance d'entraînement composé de 10 x 400 mètres entrecoupés de 2 minutes de récupération lente. Cette méthode permettait de courir à des vitesses supérieures à celle de la compétition (Noakes, 2003). A ce jour la définition des exercices intermittents n'est pas nettement établie dans la littérature (Assadi, 2012). Il y a toujours de l'ambiguïté sur trois termes: interval-training ou IT, intermittent et fractionné. Cela est probablement le même travail, seul la richesse de la langue française a donner cette confusion (Prévost & Reiss, 2019). D'ailleurs pour Fox et al. (1977) l'interval-training correspond en fait aux exercices intermittents. De manière générale, l'entraînement intermittent ou par intervalles consiste en une ou plusieurs séries d'exercices entrecoupées de périodes de récupération dont l'intensité est légère ou modérée (Åstrand et al., 2003; Fox & Mathews, 1974). Dans la littérature, les exercices intermittents ont été répertoriés dans différentes catégories :

- Interval-training (Fox & Mathews, 1974) ;
- Exercice intermittent maximale (Gaitanos et al., 1993) ;

- Exercice intermittent aérobie ou anaérobie (Billat, 2001) ;
- Répétition de périodes de sprint (Glaister, 2005) ;
- Exercice intermittent long ou court (Dupont & Bosquet, 2007; Thibault, 2009);
- Exercice intermittent à haute intensité (Casas, 2008).

Le principal objectif de la plupart des chercheurs et préparateurs physiques était de savoir l'intérêt de ce type de travail par rapport au travail continu. Selon l'intensité et de la durée de l'effort, nous définissons la forme d'exercice présentée dans cette thèse (deuxième partie, chapitre II) comme exercice intermittent progressif.

### ***5.2.1. Les principes de l'exercice intermittent***

Pour bien comprendre les différents paramètres de l'exercice intermittent, il faut souligner que plusieurs variables influencent ce type de travail. Babineau (1999) à citer les principales composantes de l'exercice intermittent :

- Distance / durée de l'effort : la distance parcourue ou le temps réalisé lors d'une répétition de l'exercice ;
- Nombre de séries: la quantité d'exercices effectué ;
- Nombre de répétitions: le nombre de fois qu'un exercice est répété à l'intérieur d'une série;
- Intensité: la vitesse, le % FCmax ou % VMA exigé pendant de l'exercice ;
- Durée de la récupération : le temps accordé entre les répétitions et les blocs de séries;
- Type de récupération : s'il s'agit d'une récupération active ou passive ;
- Rapport exercice /récupération : la relation existante entre la durée de l'effort et de la récupération ;
- Volume d'entraînement: nombres de séries fois les répétitions fois la durée ou la distance.

### ***5.2.2. Les exercices intermittents, logiques pour l'entraînement de demi-fond***

Cette méthode a été popularisée dans la pratique des coureurs de demi-fond au début des années 60 par le champion olympique Emile Zatopek qui répétait jusqu'à 100 fois 400 m en 1 min 20 s au cours d'une même séance, soit environ 80% de son VO<sub>2</sub>max (Billat, 2001). Depuis Zatopek, les athlètes de demi-fond utilisent cette méthode pour augmenter l'intensité d'entraînement à des vitesses spécifiques de compétition entre 90 et 110 % de VMA ( Billat,

2001; Billat, Petit, et al., 1996; Billat et al., 1999). Au début des années 70, Herb Elliot et John Landy (deux coureurs Australiens) dominent les courses de demi-fond. La particularité de leurs entraînements était d'introduire un travail par intervalles accompagné par un développement de la force (Assadi, 2012). Le champion olympique britannique Sebastien Coe, et détenteur des records du monde du 800 m, 1000 m, 1500 mètres et mile (les années 1980), et le 1<sup>er</sup> coureur au monde a descendre sous la barrière des 1 min 42 s au 800 m (1 min 41, 73s en 1981) était un fan du travail intermittent. Il réalisait, lors de ses séances de routine, de 20 à 30 fois 200 m en 27s, entrecoupées de période de 30s de récupération. Un travail à très grande intensité avec de très faibles temps de récupération constitue la forme d'entraînement principale de Sebastien Coe (Gacon, 1993). Au début des années 1980, Gorges Gacon (entraîneur de l'équipe de France de demi-fond 1984 à 1994), introduit l'entraînement intermittent à ces athlètes, et confirme que l'exercice intermittent qui alterne des efforts d'une durée de 30 secondes avec des récupérations d'une durée de 30 secondes (30s-30s) apparaît comme une forme d'effort appropriée pour améliorer les performances (Gacon, 1993). D'autres auteurs confirment que l'intégration d'exercices d'effort avec des périodes de récupération plus ou moins courtes, dans l'entraînement, permet une amélioration des performances en course à pied (Billat, 2001; Laursen & Jenkins, 2002). De plus, il est bien connu aujourd'hui que les coureurs, et en particulier les coureurs de demi-fond, pratiquent principalement des exercices intermittents rapides dans le cadre de leur entraînement (Vuorimaa et al., 2008).

### ***5.2.3. Les exercices intermittents et la VMA***

Au début des années 80, le concept de VMA apparaît (Léger & Boucher, 1980) comme une référence physiologique pertinente permettant de fixer les intensités de course lors des exercices intermittents. Les intensités d'effort et de récupération sont classiquement définies par rapport à la VMA. On parle d'intensité submaximale ( $< VMA$ ), maximale ( $= VMA$ ), ou supramaximale ( $> VMA$ ) (Gallais & Millet, 2007). Par la suite, la relation VMA et tlim et aussi mis en évidence (Billat et al., 1994). L'objectif était de proposer des exercices intermittents en relation avec le tlim des coureurs. Dans une étude chez des jeunes coureurs de demi-fond effectuaient deux modalités d'exercices intermittents de type 30s/30s (100% et 110% de VMA), le tlim était significativement ( $p < 0,01$ ) plus long pour l'exercice à 100% de VMA en comparaison à l'autre de 110% de VMA. L'étude conclue que l'intensité à 100% de VMA est suffisante pour développer les capacités aérobies (Thevenet et al., 2007). De manière similaire, Platonov (1987) suggère d'utiliser des intensités comprises entre 80% et

100% de VMA pour développer la capacité aérobie. De même, Robinson et al. (1991) ont suggéré qu'une intensité comprise entre 90% et 100% de VMA chez des athlètes d'élites de demi-fond était bénéfique au développement des capacités aérobies. Ainsi Zafeiridis et al. (2010) ont montré que l'exercice intermittent (3min-3min) à 95% de VMA conduit à une sollicitation aérobie plus importante comparé à l'exercice intermittent (30s-30s) à 110% de VMA.

#### ***5.2.4. Les effets de l'entraînement intermittent***

Depuis plus d'une 30 d'années, les chercheurs semblent être d'accord sur les effets positifs des exercices intermittents sur les adaptations physiologiques et l'amélioration des déterminantes de la performance, tels que la puissance maximale aérobie, la capacité aérobie et l'endurance (Tabata et al., 1996; Thibault, 2002). L'entraînement intermittent est maintenant reconnu comme une méthode efficace pour améliorer le potentiel aérobie des athlètes quels que soient leur niveau de pratique et leur spécialité sportive. En alternant fractions d'effort et de récupération, il est possible d'effectuer de 2 à 6 fois la quantité de travail et d'intensité élevée que l'on peut soutenir en continu (Gallais & Millet, 2007; Gorostiaga et al., 1991).

Des effets importants de l'entraînement intermittent sur la morphologie et la contractilité du myocarde ont été identifiés. Le caractère intermittent de l'exercice entraîne une hypertrophie myocardique, liée à l'élévation de la pression intracavitaire durant l'exercice, alors que la récupération favorise le retour veineux, ce qui entraîne ensuite une augmentation du volume d'éjection systolique. Ces modifications de la fonction cardiaque agissent évidemment favorablement sur l'augmentation du débit cardiaque et de la consommation maximale d'oxygène (Gallais & Millet, 2007).

Lors des exercices intermittents de courte durée, la resynthèse du stock de PC est plus de 80% au bout 3 min de récupération après le dernier effort (Gaitanos et al., 1993). Fox et al. (1989) ont confirmé que la réplétion du stock de PC est accomplie pendant la récupération lors d'un travail intermittent. Cette reconstitution de PC lors de la récupération est assurée grâce au système aérobie car sans oxygène la resynthèse est impossible (Yoshida & Watari, 1997).

L'accumulation du lactate dépend de la durée de l'effort, la vitesse de course et le temps de récupération (Thevenet et al., 2007). En effet, Bangsbo (1994) a constaté que les exercices intermittents du type 30/60s et 60/120s poussent une augmentation plus grande de quantité de lactate en fin d'exercice à ceux de type 10/20s et 20/40s. Cela a été confirmé aussi lors d'un exercice intermittent de type 30/30s qui conduit à une provocation de lactate (Thevenet et al., 2007).



Il est établi qu'une récupération active favorise l'élimination du lactate lors des exercices intermittents (Toubekis et al., 2005). Pour Signorile et al. (1993) la récupération active permettrait d'augmenter la capacité des sujets à produire un niveau d'intensité élevé comparativement à une récupération passive. Globalement, la récupération active peut conduire à augmenter la part du processus aérobie en diminuant la part de la glycolyse dans la production d'énergie au cours des exercices intermittents (Dorado et al., 2004; Gerbino et al., 1996). Par conséquent, plus l'aptitude aérobie d'un sujet est élevée, plus sa capacité de récupération et en particulier l'élimination du lactate est meilleure (Tomlin & Wenger, 2001).

### ***5.2.5. Modifications dans les performances sportives après un entraînement basé sur des exercices d'intermittents***

Des études antérieures ont souligné l'importance de l'entraînement intermittent pour développer les performances des athlètes d'endurance (Boutcher, 2011; Buchheit & Laursen, 2013; Laursen, 2010; Laursen & Jenkins, 2002; Sloth et al., 2013; Tschakert & Hofmann, 2013). Gorostiaga et al. (1991) ont largement démontré qu'un entraînement intermittent à 100% du  $VO_2\text{max}$  (avec une pause rapide) de plus de 2 mois pouvait conduire à une augmentation quasi linéaire du  $VO_2\text{max}$ . Esfarjani et Laursen (2007) ont montré que les performances au 3000 m ont augmenté de 7,3 % après 10 semaines d'entraînement incluant 4 séances d'exercices intermittent par semaine (de 100% VMA à 130 % VMA). De même, après 9 semaines d'entraînement intermittent à raison de 3 séances par semaine, Bangsbo et al. (2009) ont constaté que les performances de 3000m et 10000 m ont augmenté de 3,3 % et 3,1 %, respectivement. D'autres études ont utilisé uniquement des exercices intermittents dans leurs plans d'entraînement. Gliemann et al. (2015) ont remplacé des séances d'entraînement d'endurance traditionnelles (volume élevé et faible intensité) par des séances basées exclusivement sur des exercices intermittents, et ont signalé des améliorations de 6 % et 4 % sur 1500m et 5000m, respectivement, après 7 semaines d'entraînement. Sur la base de ces résultats, la présence d'au moins 2 séances d'entraînement intermittent dans un plan d'entraînement permet aux coureurs d'améliorer leurs performances en endurance (García-Pinillos et al., 2017). Il faut souligner que pour un sujet compétitif, une amélioration du temps de sa performance en endurance est plus importante que celui de son  $VO_2\text{max}$  (Babineau, 1999). D'ailleurs, Acevedo et Goldfarb (1989) ont remarqué qu'un programme d'entraînement intermittent à haute intensité, effectué de 90%  $VO_2\text{max}$  pendant 8 semaines (3 fois par semaine) avait provoqué une progression dans le temps au 10000m sans changement du  $VO_2\text{max}$  enregistré.

### **5.2.6. Approche comparative : intermittente vs continue**

Au début des années 1970, les études sur les effets des exercices intermittents et continus commencent à alimenter le débat scientifique dans le domaine de la physiologie de l'exercice pour connaître la meilleure méthode d'entraînement. Cependant, les effets des deux méthodes d'entraînement varient d'une étude à l'autre (Assadi, 2012a).

L'intérêt majeur de l'exercice intermittent par rapport à l'exercice continu est la possibilité de maintenir des intensités de travail plus importantes sur des durées plus longues afin de solliciter un grand pourcentage de  $VO_2max$  (Assadi & Lepers, 2012b; Laursen, Blanchard, et al., 2002; Midgley & Mc Naughton, 2006). Contrairement des sujets non entraînés, il faut travailler à des exercices d'intensité proche de  $VO_2max$  pour obtenir des adaptations chez les sujets très entraînés (Londeree, 1997). Plusieurs études récentes confirment que l'entraînement intermittent est plus efficace que l'entraînement continu pour améliorer la performance sportive (Mekari et al., 2020; Oliveira et al., 2018; Schaun et al., 2018). Acevedo et Goldfarb (1989) confirment qu'un entraînement intermittent (à 90% de  $VO_2max$ ) permet une augmentation significative de la performance de 3% par rapport à un entraînement continu sur 10 km. Tabata et al. (1996) ont montré que l'entraînement intermittent (de courte durée à 170 % de VMA) conduisait à une amélioration importante des capacités aérobies (+ 15 % de  $VO_2max$ ) des sujets par rapport à un entraînement continu (+ 9 % de  $VO_2max$ ). Laursen et al. (2002) ont proposé un programme d'entraînement composé d'un entraînement continu et intermittent (pendant 2 semaines à raison de 4 séances par semaine) chez des cyclistes très entraînés. Ces auteurs ont remarqué une amélioration significative des performances sur 40 km contre la montre. Aucun progrès n'a été constaté avec un programme basé uniquement sur d'exercices continus. Finalement, il faut avoir recours à l'intensité (pourcentage de VMA ou  $VO_2max$ ) susceptible d'être maintenue pendant les différentes distances de compétition pour chercher les effets positifs de l'une ou l'autre des formes d'entraînement. Ainsi, un entraînement continu relativement intensif serait adapté pour les épreuves courues de 80% à 85% de  $VO_2max$  (par exemple, semi-marathon le marathon), alors qu'un travail intermittent à haute intensité serait pertinent dans les épreuves dans lesquelles un pourcentage de 90% à 100% de  $VO_2max$  serait essentiel (Zafeiridis et al., 2010). Assadi (2012) préconise de combiner un travail intermittent avec un travail continu dont l'objectif serait d'améliorer le  $VO_2max$  et le pourcentage d'utilisation de la VMA dans des disciplines comme la course à pied. Globalement, Assadi (2012) a rassemblé les principaux effets de l'entraînement intermittent par rapport à l'entraînement continu :

- Amélioration de la VMA plus importante au cours d'un programme d'entraînement ;

- Amélioration du temps limite à VMA plus importante à la suite d'un programme d'entraînement intermittent ;
- Amélioration du VO<sub>2</sub>max plus importante ;
- Amélioration de la cinétique de VO<sub>2</sub> ;
- Amélioration de la puissance au seuil ventilatoire plus importante ;
- Lactatémie moins importante à la fin d'exercice intermittent à une intensité donnée ;
- Moindre diminution du stockage de glycogène à intensité identique ;
- Resynthèse du stockage de glycogène après un exercice épuisant de 5 à 24 heures ;
- Amélioration de la capacité aérobie et anaérobie ;
- La variabilité de la FC est plus basse à la suite d'un exercice intermittent vs continu ;
- Fatigue neuromusculaire plus importante à une charge de travail.

## CHAPITRE II

### LA VITESSE MAXIMALE AEROBIE, SIGNIFICATION ET LIEN AVEC LA PERFORMANCE

#### Présentation du chapitre II

---

*Réaliser une performance aérobie revient à courir le plus rapidement possible sur une distance donnée ou à maintenir la plus grande vitesse possible en un temps donné. Le principal index physiologique des qualités aérobie de l'enfant comme de l'adulte, et certainement le plus étudié, est **la VMA** (Praagh, 2007).*

*Dans ce chapitre nous nous sommes intéressés à l'importance de la VMA dans l'entraînement sportif, et comment cette référence physiologique contribuer à expliquer l'évolution de la performance aérobie.*

- 1. Contexte historique**
- 2. Définition de la VMA**
- 3. Mesure de la VMA, quelle utilité?**
- 4. VMA et VO<sub>2</sub>max prédit**
- 5. VMA et relation avec la performance**
- 6. Le temps limite à la vitesse associée à la VMA (tlim VMA)**
- 7. Distance de la compétition et % de VMA sollicités**
- 8. L'utilisation de la VMA comme indicateur de la performance**
- 9. Impact du protocole sur la détermination de la VMA**

## 1. Contexte historique

Depuis de nombreuses années la consommation maximale d'oxygène est considérée comme une référence physiologique incontournable pour estimer les capacités cardiorespiratoires d'un sportif. La vitesse associée à la consommation maximale d'oxygène est apparue à la fin des années 1970. en 1975, Volkov et al. (1975) décriront cette vitesse comme la vitesse critique pour évaluer la capacité aérobie maximale. La vitesse à  $VO_{2max}$  résulte de l'interaction de 3 facteurs : la fraction du  $VO_{2max}$  qui peut être maintenue lors d'une épreuve, de l'efficacité de la foulée (économie de course) et de la motivation pour atteindre le  $VO_{2max}$  (Prévost & Reiss, 2019). Le rapport entre le  $VO_{2max}$  et l'économie de course est à l'origine du terme de VMA (Billat et al., 2001). Par la suite, de nombreux chercheurs se sont intéressés à l'étude de la VMA et son application en course à pieds jusqu'à ce jour.

## 2. Définition de la VMA

Les définitions attribuées à la VMA varient selon les auteurs, mais le fond reste identique. Certains auteurs préfèrent la notion de vitesse à  $VO_{2max}$  (Billat & Koralsztein, 1996; Billat et al., 2001; Daniels et al., 1984). D'autres aiment employer le concept vitesse maximale aérobie (Brue, 1985; Lacour et al., 1989; Léger & Boucher, 1980; Melin et al., 1996), Cazorla (2004) utilise plutôt le terme VAM ou puissance aérobie maximale fonctionnelle (PAMF) et défini cette vitesse comme la vitesse limite atteinte à  $VO_{2max}$ . Gacon et Assadi (1990) définissent La VMA comme l'intensité de travail que l'on développe au cours d'un effort dont la dépense énergétique correspondant à la consommation d'oxygène maximale ou puissance maximale aérobie. Pour la plupart des auteurs, la VMA est définie comme étant la vitesse minimale qui sollicite la consommation maximale d'oxygène (Billat et al., 2001; di Prampero et al., 1986; Lacour et al., 1991; L. Léger & Boucher, 1980; Péronnet & Thibault, 1987).

## 3. Mesure de la VMA, quelle utilité ?

Connaître ou plutôt calculer la VMA est la base pour établir une programmation d'entraînement. En effet, en course de demi-fond la majorité des séances d'entraînement sont basées sur des pourcentages de la VMA du coureur. A partir de cette valeur, le sportif avait la possibilité de calculer l'intensité de travailler que ce soit sur du fractionné ou sur des distances plus longues. La connaissance de la VMA s'avère aussi très utile pour au moins 4 raisons (Cazorla, 2004) :

- Elle autorise l'extrapolation du  $VO_{2max}$ .

- Elle permet de prédire les performances potentielles de course, à la condition bien sûr de s'entraîner correctement.
- Elle donne des indications sur les intensités à envisager dans les séances d'entraînement.
- Elle permet aussi de mieux gérer les vitesses utiles d'entraînement.

#### 4. VMA et VO<sub>2</sub>max prédit

Il est possible d'estimer le VO<sub>2</sub>max à partir de la connaissance de la VMA. De ce fait, de nombreux auteurs qui se sont penchés sur la question des équations de prédictions du VO<sub>2</sub>max (tableau 08).

**Tableau 08:** Prédiction du VO<sub>2</sub>max en fonction de la vitesse de course

Auteurs	Equation de prédiction de VMA (km.h <sup>-1</sup> )
(Costill et al., 1973)	$Y = 3.4.V - 5.24$
(McMiken & Daniels, 1976)	$Y = 2.867.V + 5.363$
(Bransford & Howley, 1977)	$Y = 3.40.V. - 0.51$
(Léger & Lambert, 1982)	$Y = 5.857. V - 19.458$
(Léger & Mercier, 1983)	$Y = 2.209 + 3.163.V + 0.000525 542 V^3$
(Léger & Mercier, 1983)	$Y = 3.5 V$

La prédiction du VO<sub>2</sub>max est considérée comme excellente dans l'étude de Léger et Lambert (1982) puisque l'erreur était de 2,8 ml·min<sup>-1</sup>·kg<sup>-1</sup> soit environ un palier de course. L'équation proposée par Léger et Mercier (1983) [VO<sub>2</sub> max = 3,5 X VMA (km.h<sup>-1</sup>)] s'avère la plus simple et résume l'ensemble des équations précédentes. A l'inverse, connaissant le VO<sub>2</sub>max, il est donc possible d'estimer la VMA [VMA = VO<sub>2</sub>max (ml·min<sup>-1</sup>·kg<sup>-1</sup>) / 3.5]. La valeur de 3.5 correspond à une augmentation du cout énergétique (ml.kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>) (Cazorla, 2004).

di Prampero (1986) propose une équation d'estimation de la VMA en utilisant un protocole spécifique:  $VMA = FVO_2max/C$ , dans lequel F est la fraction maximale du VO<sub>2</sub>max maintenue sur la durée totale d'exercice et C le coût énergétique de la course. Lacour et al. (1991) proposent d'évaluer la VMA suivant l'équation:

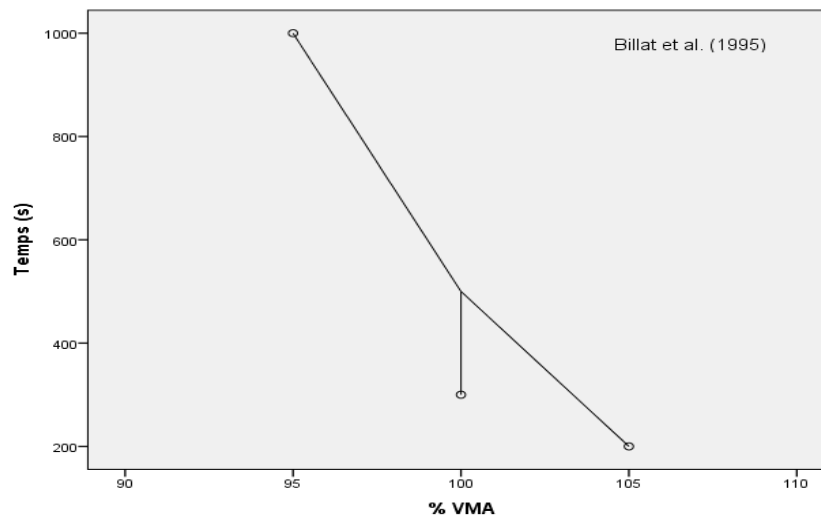
$VMA (m.min^{-1}) = [VO_2max (ml.min^{-1}.kg^{-1}) - 5 ml.min^{-1}.kg^{-1}].C$ , où la valeur de VO<sub>2</sub> de repos est supposé égal à 5 ml·min<sup>-1</sup>·kg<sup>-1</sup>.

## 5. VMA et relation avec la performance

Plusieurs études ont montré que la VMA est bien corrélée à la performance (Billat et al., 2001; Lacour et al., 1991; Morgan, Baldini, et al., 1989). En effet, plusieurs recherches ont observé une forte corrélation ( $r=0,87$  à  $r=0,94$ ) entre des épreuves allant du 800 m au marathon (Daniels et al., 1984; Noakes et al., 1990; Scott & Houmard, 1994; Scrimgeour et al., 1986). Cependant, les corrélations les plus élevées étant obtenues pour le 1500 m et le marathon (Billat et al., 2001). Lacour et al. (1989) ont montré une forte corrélation entre la VMA et la performance sur 1500 m. Lacour et Candau (1990) ont trouvé des bonnes corrélations entre la VMA et la performance de 1500 à 5000 m. Pour leur part, Morgan et al. (1989) ont montré un lien très significatif entre la VMA et la performance sur 10 km chez des sujets entraînés. De manière similaire, de fortes corrélations ont été trouvées dans d'autres disciplines entre la VMA et la performance sur 100 m en natation (Klentrou et Montpetit, 1991) ou sur 20 km en cyclisme (Hawley et Noakes, 1992). Globalement, la VMA semble mieux corrélée à la performance en course de durée que le  $VO_2\text{max}$  (Billat et al., 2001) et plus la distance est longue plus ce lien est fort (Montmayeur et Villaret, 1990). Par ailleurs, Hill et Rowell, (1996) ont confirmé que la VMA pourrait aussi être influencée par le protocole et la méthode de calcul utilisé.

## 6. Le temps limite à la vitesse associée à la VMA (tlim VMA)

La VMA est d'une utilité primordiale pour fixer les allures de course. Néanmoins, en addition de la vitesse de course, il est indispensable de mesurer le temps limite de course (tlim) à un pourcentage donné de la VMA (Billat et al., 2001), car il peut être utilisé comme un indice supplémentaire de la charge d'entraînement du sportif afin de fixer la durée d'exercice de façon la plus précise possible (Billat, 1998). Il est connu que tlim VMA est corrélé à la VMA (Blondel et al., 2000), même si une grande variabilité interindividuelle de tlim VMA existe (Billat et Koralsztejn, 1996; Billat et al., 1994). Par exemple, à 100 % de la VMA, le tlim VMA était compris entre 3 à 9 min (Billat et Koralsztejn, 1996). Billat et al. (1994) dans leur revue de question rapportent que le tlim VMA est compris entre 2 min 30s et 10 min. Les valeurs de tlim VMA restaient relativement stables après la puberté, environ 5-6 min (Berthoin et al., 1996). Généralement, les durées du tlim VMA allant de 4 à 11 min, et largement réparties autour de 6 min en moyenne (Billat, 1998). Les variations du tlim pourrait être expliquée en partie, par les variabilités des possibilités anaérobies des sujets (Hill et Rowell, 1996; Kachouri, Vandewalle et al., 1996).



**Figure 04** : Temps limite à différents % de VMA chez les coureurs de la course de durée (Billat et al., 1995)

Pour déterminer s'il existe une différence entre le temps limite et la modalité d'exercice (continu et intermittent), Kachouri et al., (1996) ont mesuré le tlim des exercices continus et intermittents à 95 % et 105 % de VMA. Les auteurs calculent que le tlim est indépendant de la modalité d'exercice. De même, Billat et al. (1996) ont constaté que le tlim intermittent n'est pas significativement différent au tlim continu lors de comparaison de deux valeurs de tlim en course intermittente à une course continue à 100 % de VMA.

Le tlim VMA représente un choix de référence pour déterminer la durée d'entraînement à VMA ou  $VO_2$ max. Cette donnée pourrait expliquer pourquoi deux sujets de même VMA répondant de façon différente à un exercice fractionné. Prenant un exemple d'un coureur ayant un tlim VMA de 10 min, il réalise 5 répétitions de 4 min courue à 100 % de VMA alternant de 1 min de récupération active (50% de VMA). En effet, les 4 min représente une charge d'entraînement relativement faible en comparaison à un autre coureur avait un tlim VMA de 5 min. La durée de 4 min représente une charge d'entraînent importante pour ce coureur.

Il est bien connu que l'intensité fixée pour réaliser un exercice intermittent est un facteur clé de son efficacité (Laursen & Jenkins, 2002). Dans une étude, Dupont et al. (2002) ont comparé 4 exercices intermittents (15s-15s) réalisés à 4 différents % de VMA (110%, 120%, 130% et 140%). Les résultats ont montré que les vitesses de course à 110% et 120% de VMA, étaient celles qui enregistrent le plus grand tlim 90% de VMA. Pour sa part, Millet et al. (2003) ont montré que l'utilisation d'une intensité d'exercice de 105% de VMA lors d'un



exercice intermittent 30s-30s, permettait d'augmenter significativement ( $P < 0,01$ ) le tlim 90% de VMA par rapport à un exercice réalisé à 100% de VMA.

### 7. Distance de la compétition et % de VMA sollicités

Il est possible grâce à des nombreuses études scientifiques de connaître à quels pourcentages de VMA se courent les différentes distances de course. Ainsi, il est possible de choisir les intensités et allures d'entraînement pour construire les séances en vue de l'objectif et des performances visés (Sordello, 2019). Les % de VMA sollicités au cours d'une distance de compétition constituent d'excellentes orientations pour déterminer les objectifs chronométriques en fonction des performances visées (tableau 09). Plus la distance augmente plus le pourcentage de la VMA maintenue diminue avec une corrélation qui augmente jusqu'à 3km courue entre 95 à 100 % de VMA et qui diminue ensuite. Ceci peut être expliqué par la participation importante du métabolisme anaérobie entre la distance de 800 m et 2000 m. D'une façon générale, la distance de 3000m semble la plus proche de la VMA chez les athlètes de demi-fond bien entraînés et peut vraisemblablement servir comme critère de VMA uniquement pour cette discipline (Cazorla, 2004). Lacour et al. (1990) on observait le même type de résultats et ont constaté que la vitesse moyenne au 3000m est voisine de la VMA.

**Tableau 09** : Relation entre la distance de compétition et % de VMA susceptible d'être maintenu (d'après Cazorla, 2004)

Distances	% de VMA	Corrélation VMA – Performance
800m	120 à 125	$r = 0.72$ (n = 40)
1000m	105 à 115	$r = 0.92$ (n = 105)
1500m	101 à 111	$r = 0.92$ (n = 105)
2000m	98 à 102	$r = 0.95$ (n = 71)
3000m	95 à 100	$r = 0.98$ (n = 69)
5000m	90 à 95	$r = 0.98$ (n = 69)
10000m	85 à 90	$r = 0.88$ (n = 108)
20000m	80 à 88	$r = 0.88$ (n = 108)
42195m	75 à 84	$r = 0.85$ (n = 108)

### 8. L'utilisation de la VMA comme indicateur de la performance

La VMA peut également être utilisée pour prédire les performances susceptibles d'être atteintes en course à pied (tableau 10), à condition que le sujet s'entraîne régulièrement et correctement pour développer leurs capacités physiologiques. Le tableau 10 peut être une base de travail avec une assez bonne précision de la performance dans le cas où le sujet s'entraînerait spécifiquement pour une performance visée. Par exemple si la VMA d'un demi-fondeur est mesurée à 20 km.h<sup>-1</sup> il peut réaliser les performances suivantes: 2 min 03s au 800m ; 4 min 17s au 1500m ; 9 min 23s au 3000 m. Si le sujet n'atteint pas ces performances c'est probablement à cause de trois facteurs : 1) sa capacité anaérobie lactique n'est pas suffisamment développée 2) son endurance aérobie n'a pas été assez bien développée 3) son économie de course est médiocre (Cazorla, 2004).

**Tableau 10** : Prédiction des performances selon différentes distances de course (d'après Cazorla, 2004)

VMA km.h <sup>-1</sup>	Performances potentielles (h:min:s) selon différentes distances de course (m)										
	800	1000	1500	2000	3000	5000	10000	15000	20000	30000	42195
14	2:59	3:56	6:30	9:05	14:28	25:20	56:15	1:27:23	1:59:22	3:15:43	4:54:07
15	2:46	3:38	5:59	8:20	13:16	23:11	50:47	1:18:46	1:47:29	2:53:20	4:17:48
16	2:35	3:24	5:32	7:43	12:15	21:23	46:17	1:11:42	1:37:45	2:35:33	3:49:28
17	2:26	3:11	5:09	7:10	11:23	19:50	42:30	1:05:47	1:29:38	2:21:05	3:26:44
18	2:17	2:59	4:50	6:42	12:38	18:30	39:18	1:00:47	1:22:46	2:09:06	3:08:06
19	2:10	2:49	4:32	6:17	9:58	17:20	36:33	56:29	1:16:52	1:59:57	2:52:34
20	2:03	2:40	4:17	5:56	9:23	16:18	34:10	52:45	1:11:45	1:50:18	2:39:23
21	1:57	2:32	4:03	5:36	8:52	15:23	32:04	49:29	1:07:17	1:42:49	2:28:05
22	1:51	2:25	3:50	5:19	8:24	14:34	30:12	46:36	1:03:20	1:36:17	2:18:16
23	1:46	2:18	3:39	5:07	7:59	13:50	28:33	44:01	59:30	1:30:32	2:09:41
24	1:42	2:12	3:29	4:49	7:36	13:10	27:04	41:43	56:41	1:25:26	2:02:06
25	1:37	2:06	3:20	4:36	7:15	12:34	25:44	39:39	53:51	1:20:53	1:55:21

## 9. Impact du protocole sur la détermination de la VMA

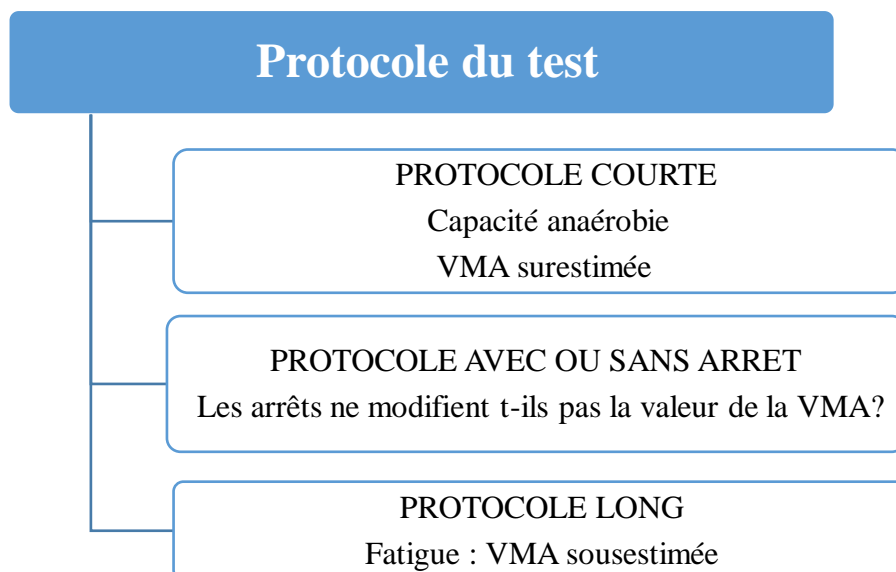
La variété des méthodes de mesure de la VMA que ce soit sur le terrain ou en laboratoire peut conduire à des estimations de vitesse différentes. Diverses études ont été menées afin de comparer la VMA obtenue par différents protocoles. Ces études sont résumées dans le tableau 11.

**Tableau 11:** Comparaison des valeurs de VMA obtenues à partir de différents protocoles

Auteurs	N	Protocoles	VMA (km.h <sup>-1</sup> )
(Berthoin et al., 1994)	17	Université de Montréal Track test	15,8±1,9
		Test intermittent sur tapis roulant	15,9±2,6
(Berthoin et al., 1996b)	11	Université de Montréal Track test	16,7±0,3
		Test intermittent sur tapis roulant	17,1±0,5
(Laiche et al., 1996)	18	Test intermittent sur tapis roulant	19,7±1,7
		Même protocole sur piste d'athlétisme	18,1±1,3
(Aziz et al., 2005)	21	Test navette de 20 m	13,6±0,4
		Test intermittent (Yo-Yo test, niveau 2)	15,7±0,8
(Schnitzler et al., 2010)	12	Université de Montréal Track test	15,8±0,8
		Test de capacité d'endurance (3 min 30s)	13,2±0,7
(Dupont et al., 2010)	14	Université de Montréal Track test	16,8±1,1
		Test intermittent (Yo-Yo test, niveau 1)	16,5±0,6
(Assadi & Lepers, 2012b)	20	Le 45/15	17,7±1,1
		Test continu sur tapis roulant	15,6±1,4
(Carminatti et al., 2013)	18	Test de VAMEVAL	15,5±1,3
		Carminatti test	15,6±1,2
(Los Arcos et al., 2019)	14	Université de Montréal Track test	16,7±0,8
		Test intermittent sur tapis roulant	15,9±0,9
(Darendeli et al., 2020)	18	Test continu de 5 min	15,8±1,2
		Test navette de 20 m	16,1±1,6

Quelques protocoles de laboratoire (sur tapis roulant) destinés à mesurer la VMA ont été comparés à ceux mesurés sur le terrain. Les auteurs concluent que les valeurs moyennes de VMA sont significativement différentes. Selon les auteurs, les conditions climatiques rencontrées sur le terrain, type d'exercice (intermittent ou continu) et l'absence des facteurs

aérodynamiques lors de la course sur tapis roulant sont à l'origine de cette différence de vitesse (Assadi et Lepers, 2012b; Billat et al., 2001; Hill et Rowell, 1996; Iaiche et al., 1996). Bien que la VMA dépend de multiples interactions physiologiques, le protocole du test censé l'obtenir suscite aussi une grande importance. Cazorla (2004) a mis en évidence la relation entre la VMA et le protocole du test (figure 05). D'une façon générale, plus l'augmentation de la vitesse entre deux paliers est courte et brutale, plus la VMA est surestimée probablement à cause de la participation importante du métabolisme anaérobie à la production d'énergie. A l'inverse, plus le protocole est long, plus la VMA est sous-estimée probablement à cause des effets de la fatigue périphérique. Une durée adaptée du test est donc un élément important pour que celui-ci soit valide. Ainsi, des tests peu coûteux en matériels doivent être privilégiés pour favoriser une mesure fiable de la VMA durant le processus quotidien d'entraînement (Bellenger et al., 2015). Enfin, il est très difficile de préférer un test à l'autre car il n'existe pas un test de référence. Cependant, Il serait donc plus approprié que le type de travail musculaire effectué pendant le test soit bien lié au type d'exercice effectué pendant l'entraînement (Manouvrier et al., 2016).



**Figure 05** : Variation de la VMA en fonction du protocole du test (selon Cazorla, 2004)

## CHAPITRE III

# OUTILS D'ÉVALUATION DE LA VITESSE MAXIMALE AÉROBIE

## Présentation du chapitre III

---

*L'œil à toujours raison. Si un test confirme le jugement de l'œil, c'est un bon test. S'il infirme l'impression de l'œil, il faut le mettre de côté et ne pas en tenir compte. Cette affirmation d'Ottavio Bianchi, entraîneur de Naples montre l'importance relative qu'il faut accorder aux tests (Jeandupeux, 1997).*

*Ce chapitre est axé sur la présentation de différents tests permettant de mesurer la VMA.*

### 1. Exigences de la réalisation d'un test

- 1.1. La familiarisation avec le test
- 1.2. Le force d'engagement dans le test
- 1.3. Le moment de la journée

### 2. Critères de pertinence applicables aux tests de VMA

- 2.1. Degré de validité
- 2.2. Degré de fidélité (reproductibilité)
- 2.3. Degré d'accessibilité
- 2.4. Degré de sensibilité
- 2.5. Autres critères

### 3. Évaluation de la VMA

- 3.1. Les tests réalisés en laboratoire
- 3.2. Les tests réalisés sur le terrain
  - 3.2.1 Epreuves continues à intensité stable (protocoles rectangulaires)
    - 3.2.1.1. Test demi-Cooper
    - 3.2.1.2. Test de 5 min
  - 3.2.2. Epreuves continues à intensité progressive (protocole triangulaires continus)
    - 3.2.2.1. Test de course sur piste de l'université de Montréal

3.2.2.2. *Test Conconi*

3.2.2.3. *Test navette de 20 m*

3.2.2.4. *Le test de Brue derrière un cycliste*

3.2.2.5. *Le test de Lavoie*

3.2.2.6. *Le test de VAMEVAL*

3.2.3. *Epreuves intermittentes à intensité progressive (protocoles triangulaires intermittents)*

3.2.3.1. *Test de Carminatti*

3.2.3.2. *Test incrémental*

3.2.3.3. *Yo-Yo intermittent test*

3.2.3.4. *Le 30-15 intermittent fitness test*

3.2.3.5. *Le 45/15*

3.2.3.6. *Footeval*

3.2.3.7. *Test d'endurance intermittent de volleyball*

## **1. Exigences de la réalisation d'un test**

Connaissant les conditions de réalisation d'un test cela permet de répondre aux premiers objectifs de l'évaluation afin qu'elle soit utile. Dans le cadre des tests d'évaluation de la condition physique, il est nécessaire de respecter des principes fondamentaux pour évaluer un indice physiologique dans des conditions maximales (Abernethy et al., 1995; Wilson & Murphy, 1996).

### ***1.1. La familiarisation avec le test***

Quel que soit le type du test ou sa durée de réalisation, l'impact de l'apprentissage sur les résultats est prouvé de longue date (Ploutz-Snyder & Giamis, 2001; Temfemo et al., 2006). En effet, une connaissance préalable et une familiarisation avec la procédure du test, notamment pour les personnes novices, pourrait être intéressante avant l'évaluation officielle (Cronin & Henderson, 2004; Soares-Caldeira et al., 2009). Le fait qu'un sujet ne soit pas familiarisé avec une épreuve ou un exercice (un exercice de musculation par exemple) peut perturber le bon déroulement de test (Reiss & Prévost, 2013). Dans ce contexte, Cazorla (2004) a remarqué une différence allant de 5 à 10% lors de la procédure test-retest liée uniquement à l'effet découverte voire à l'apprentissage. En conséquence, il avait recommandé d'enregistrer les résultats obtenus au deuxième test.

### ***1.2. La force d'engagement dans le test***

Le niveau de motivation d'un sportif pour réaliser un test joue un rôle important pour atteindre le maximum au cours d'une épreuve. Le  $VO_2\text{max}$ , l'économie de course et la motivation (niveau d'engagement) sont les principales interactions pour arriver à la vitesse maximale aérobie lors d'une épreuve intense et prolongée (Cazorla, 2004). Ainsi, la préparation mentale est préalablement indispensable pour préparer l'individu à réaliser le test avec un niveau d'engagement maximal.

### ***1.3. Le moment de la journée***

L'heure de la journée à laquelle se déroule une séance d'évaluation est un facteur qui pourrait jouer un rôle crucial sur le niveau de performance maximale (Chtourou et al., 2012; Chtourou & Souissi, 2012; Zhang et al., 2009). De même, il est fortement recommandé lors de deux sessions d'évaluation de faire passer le même test dans les mêmes conditions environnementales afin d'éviter, par exemple, le changement de la température corporelle sur la variabilité de la performance (Cazorla, 2004).

## 2. Critères de pertinence applicables aux tests de VMA

Afin d'élaborer un protocole de mesure efficace et de lui offrir une légitimité, un test doit posséder plusieurs qualités et respecter quatre critères d'appréciation: la validité, la fidélité, l'accessibilité et la sensibilité (Cazorla, 2004). De plus, chaque test utilisé par les entraîneurs pour évaluer ou entraîner l'aptitude physique des athlètes devrait être valide, reproductible et sensible (Selmi et al., 2016).

### 2.1. Degré de validité

Un test est considéré valide lorsqu'il mesure réellement ce qu'il censé mesuré. C'est la précision de la mesure. Pour cela, on utilise un outil statistique nommé coefficient de corrélation, expriment le degré de concordance existant entre la mesure du test et celle d'une mesure de référence déjà validée (gold standard). Plus la corrélation est importante entre les mesures, plus les probabilités de concordance entre les évaluations est importante (Leroux, 2006; Quinart, 2013).

**Tableau 12** : Niveau de validité en fonction des coefficients de corrélation ( $r$ ) proposés par Hopkins et al. (2009)

Niveau	Faible	Petit	Modéré	Grand	Très grand	Presque parfait
<b>Validité</b>	$r < 0.1$	$0.1 \leq r < 0.3$	$0.3 \leq r < 0.5$	$0.5 \leq r < 0.7$	$0.7 \leq r < 0.9$	$0.9 \leq r < 1$

### 2.2. Degré de fidélité (reproductibilité)

Un test est considéré reproductible lorsque les résultats qu'il produit demeurent stables lors d'une procédure test-retest à peu de jours d'intervalle, sans différence significative et corrélation proche de 1 (Cazorla, 2004; Leroux, 2006). Il doit fournir les mêmes résultats (stabilité dans la mesure) dans les mêmes conditions environnementales. Cependant, un apprentissage du test est recommandé pour éviter une étendue de différences entre les deux mesures liées uniquement à l'effet découverte (Cazorla, 2004). Pour évaluer la reproductibilité de manière précise, plusieurs instruments statistiques peuvent être utilisés. Parmi les plus fréquents : coefficient de corrélation ( $r$ ) (Hopkins et al., 2009), coefficient de corrélation intraclasse (ICC) (Fermanian, 1984; Shrout & Fleiss, 1979) et le graphique de Bland et Altman (Bland & Altman, 1986).



### **2.3. Degré d'accessibilité**

Les tests les plus accessibles sont ceux qui sont pratiqués sans méthode d'exécution difficile et sans protocole compliqué, avec une durée courte et peu coûteux en matériels, qui permet une mesure collective de plusieurs sujets à la fois avec peu d'évaluateurs (Cazorla, 2004). Le niveau d'accessibilité est donc lié à la façon de la réalisation du test et aux caractéristiques du protocole.

### **2.4. Degré de sensibilité**

Un test est sensible lorsqu'il répond aux plus légers changements qu'elles soient positives ou négatives après une période d'entraînement (Quinart, 2013). C'est la capacité du test à détecter des variations dues à l'entraînement. Par exemple, l'amélioration de l'endurance (valeur de VMA) enregistrée chez un athlète au laboratoire après un cycle d'entraînement ; est-elle saisie par le test de terrain ?

### **2.5. Autres critères**

Prévost et Reiss (2013) ont évoqué d'autres caractéristiques supplémentaires qui pourraient définir un bon test, il y a :

- La nécessité de solliciter un personnel médical pour réaliser le test (par exemple : la prise d'échantillon sanguin pour mesurer la lactatémie).
- La durée d'interprétation des résultats.
- La sécurité à la passation du test.
- Le nombre maximal de sujets pouvant être évalués en même temps (tester une équipe par exemple).
- La facilité de compréhension du test.
- La tranche d'âge pour laquelle le test a été validé.

## **3. Evaluation de la VMA**

Nombreux sont les entraîneurs et les préparateurs physiques qui, aujourd'hui, s'interrogent avant de choisir le test correspondant principalement à leurs exigences et à leurs moyens. Billat et al. (2001) recommandent de choisir un test de terrain s'il s'agit d'évaluer la vitesse maximale aérobie pour des raisons liées à l'entraînement des coureurs. Différents tests ont été proposés pour mesurer la VMA, que l'on peut regrouper en deux catégories (Billat et al., 2001) :

- La première regroupe les tests de laboratoire ;
- La seconde, les tests réalisés sur le terrain.

### ***3.1. Les tests réalisés en laboratoire***

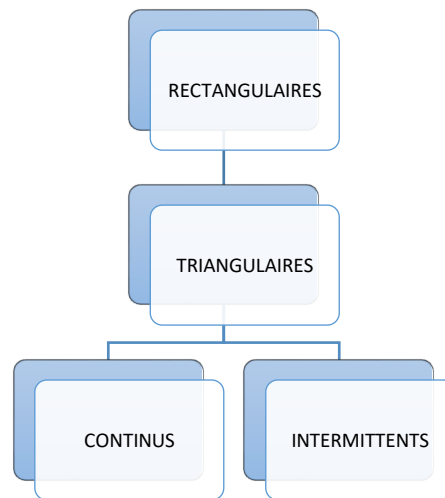
En laboratoire la VMA correspond à la vitesse atteinte à la fin d'un test dont l'objectif premier est de déterminer le  $VO_{2max}$  à partir des échanges gazeux respiratoires (Ahmaidi et al., 1990). On distingue trois méthodes pour imposer des exercices à une puissance déterminée : la course sur tapis roulant, le travail sur bicyclette ergométrique et la montée et descente d'une marche step-test (Åstrand & Rodahl, 1994). Pour la course à pied, mieux d'utiliser le tapis roulant plutôt que la bicyclette (Billat, 1998). L'intérêt principal de ces procédés réside dans la prédiction du  $VO_{2max}$  à partir de la vitesse de course correspondant à la VMA (Melin et al., 1996). Cependant, de nombreux coureurs et entraîneurs, y compris de haut niveau, ne souhaitent pas réaliser ou faire réaliser régulièrement ce genre de tests. En effet, l'appareillage nécessaire est coûteux et ne permet la mesure que d'un sujet à la fois, ce qui en pratique quotidienne d'entraînement pose des limites, surtout s'il faut se rendre dans un laboratoire spécialisé (Berthoin et al., 1994; Paradisis et al., 2014). Compte tenu des difficultés techniques de mesure, la méthode la plus appropriée pour l'évaluation des sportifs est celle qui se rapproche le plus de leurs mode de pratique (Iaiche et al., 1996).

### ***3.2. Les tests réalisés sur le terrain***

De nombreux tests ont été proposés pour mesurer la VMA sur le terrain. Ces épreuves sont de réalisation plus ou moins complexe, certaines demandant un matériel relativement lourd, d'autres sollicitant moins de moyens et pouvant être programmées sur le terrain. Selon leur protocole, on distingue trois types de tests (Amoretti et al., 2020). Dans le premier, l'athlète réalise un effort à une charge constante. Par exemple courir la plus grande distance possible pendant 5 minutes (protocole rectangulaire). Dans le second, le sujet réalise un effort par paliers successifs jusqu'à épuisement à l'aide de repères sonores (protocole triangulaire continu). Pour le troisième, le même principe que le second, sauf l'intégration des plages de récupération dans l'effort est applicables (protocole triangulaire intermittent).

La vitesse de course atteinte à la fin d'un test peut varier en fonction des auteurs. Certains auteurs enregistrent la vitesse atteinte au dernier palier complètement achevé (Berthoin et al., 1992; Cazorla, 1990; Léger & Boucher, 1980; Melin et al., 1996; Pallarés et al., 2019). D'autres auteurs recommandent de retenir l'avant dernier palier comme étant la VMA, car il est probable que le  $VO_{2max}$  ait déjà été atteint, en particulier chez les sportifs très entraînés

(Iaiche et al., 1996; Lacour et al., 1989). Aussi, afin d'éviter ces confusions, Cazorla (2004) suggère d'utiliser le concept de VMA spécifique en indiquant le test avec lequel la VMA a été obtenue plutôt que la notion simple de VMA qui peut amener à certaines confusions. Par exemple: VMA UM-TT, VMA VAMEVAL...ets. Finalement, il a été rapporté que les évaluations de terrain ont une meilleure validité externe et sont considérées comme plus pratiques (Bellenger et al., 2015; Los Arcos et al., 2019; Paradisis et al., 2014). Nous présentons dans cette section les tests les plus sollicités sur le terrain par les entraîneurs et les spécialistes dans différentes disciplines, ceux que nous trouvons les plus fréquemment utilisés.



**Figure 06** : Classification des protocoles des tests de VMA

### **3.2.1. Épreuves continues à intensité stable (protocoles rectangulaires)**

Ces épreuves se réalisent de façon maximale et continue, c'est-à-dire à la même intensité pendant un temps ou une distance déterminée. La VMA correspond généralement à la vitesse moyenne calculée en fonction de la distance parcourue. Cependant, sur le plan pratique, ces tests présentent certaines limites dont la principale : la difficulté de courir le vite possible à la même intensité pour les sportifs non habitués (Amoretti et al., 2020).

#### **3.2.1.1 Test demi-Cooper**

C'est une version réduite du fameux test de Cooper. Il s'agit de parcourir la plus grande distance possible en 6 min. C'est le même protocole que le Cooper (estimation du  $VO_2\text{max}$ ) mais sur 6 min avec une évaluation directe de la VMA. La VMA correspond à la vitesse moyenne tenue sur 6 min calculée à l'aide de l'équation suivante:

VMA (km.h<sup>-1</sup>) = distance parcourue (m)/100

Exemple : pour un sujet qui aurait parcouru 1700 m en 6 min, cela donne une VMA mesurée à 17 km.h<sup>-1</sup>.

### **3.2.1.2. Test de 5 min**

Ce test a été proposé par Chamoux et al. (1996) pour des sujets plus entraînés. Il s'agit d'enregistrer la distance globale parcourue lors d'une durée de 5 min en multipliant cette distance par 12. Ce test permettait d'estimer simplement et rapidement la VMA, et cela ressemble d'ailleurs au protocole de demi-Cooper. La durée de l'exercice (5 min) est très proche au temps limite à VMA.

VMA (km.h<sup>-1</sup>) = distance parcourue (km) x 12

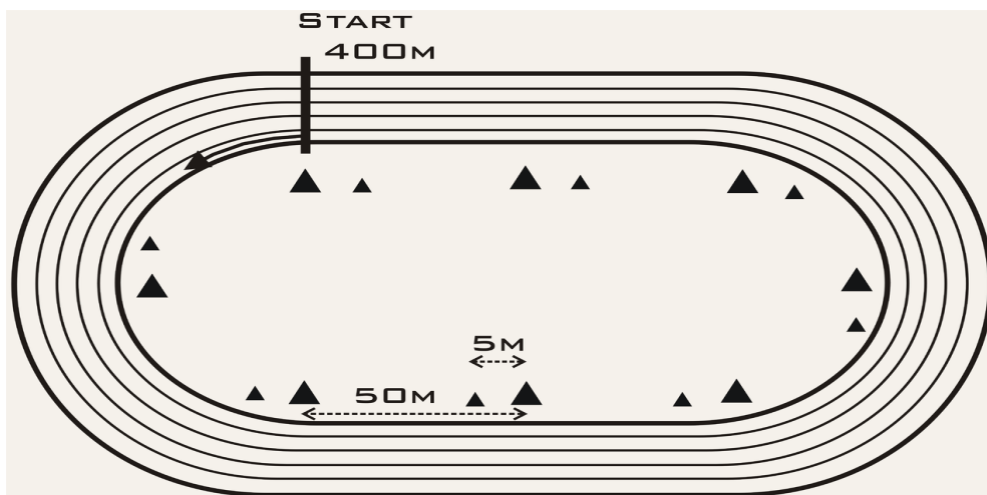
### **3.2.2 Epreuve continues à intensité progressive (protocole triangulaires continus)**

Il s'agit des exercices où l'intensité augmente progressivement par palier (au moyen d'une bande sonore) dont le dernier palier complété servira comme VMA du sportif.

#### **3.2.2.1. Test de course sur piste de l'université de Montréal**

Appelé aussi Université de Montréal Track Test (UM-TT). Léger et Boucher (1980) sont les premiers à avoir proposé une épreuve de terrain continue, progressive et maximale pour évaluer le VO<sub>2</sub>max et la VMA des athlètes. Ce test consiste à courir autour d'une piste à vitesse imposée par des signaux sonores émis à intervalles réguliers tous les 50 m. La vitesse (l'incréméntation) augmente toutes les 2 min de 1 km.h<sup>-1</sup>. A chaque signal, le sujet doit se trouver obligatoirement à proximité des plots disposés sur la piste (chaque 50 m). Le test est terminé quand le sujet est incapable de suivre la vitesse imposée, et la VMA correspond à la vitesse de course du dernier palier (figure 7). Le VO<sub>2</sub>max peut être prédit par l'équation développée par Léger et Mercier (1983):

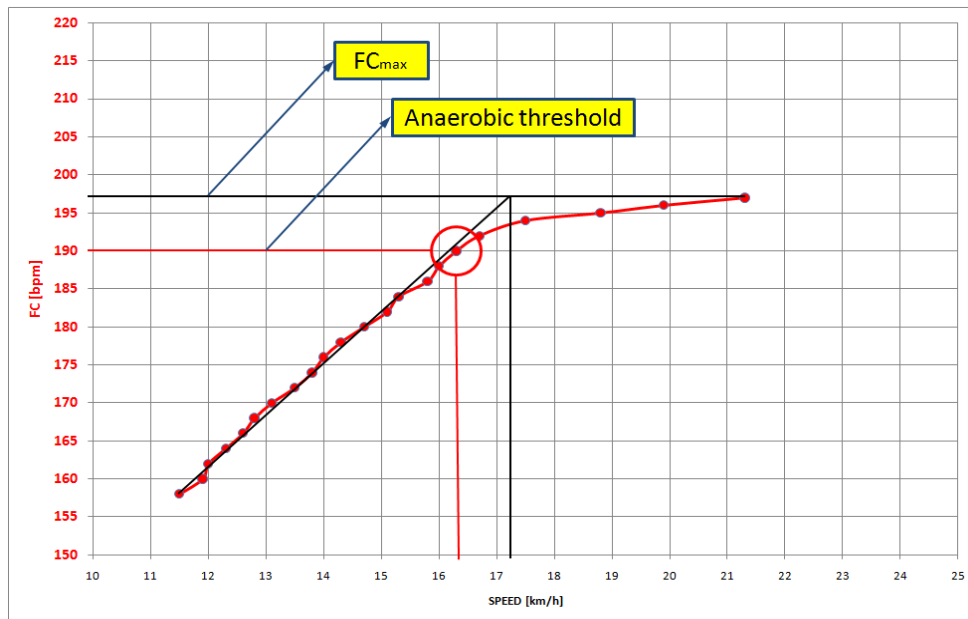
VO<sub>2</sub>max (ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>) = 3.5\*V.      V = VMA en km.h<sup>-1</sup>.



**Figure 07** : Organisation du test de course sur piste de l'université de Montréal (Léger et Boucher, 1980)

### 3.2.2.2. *Test Conconi*

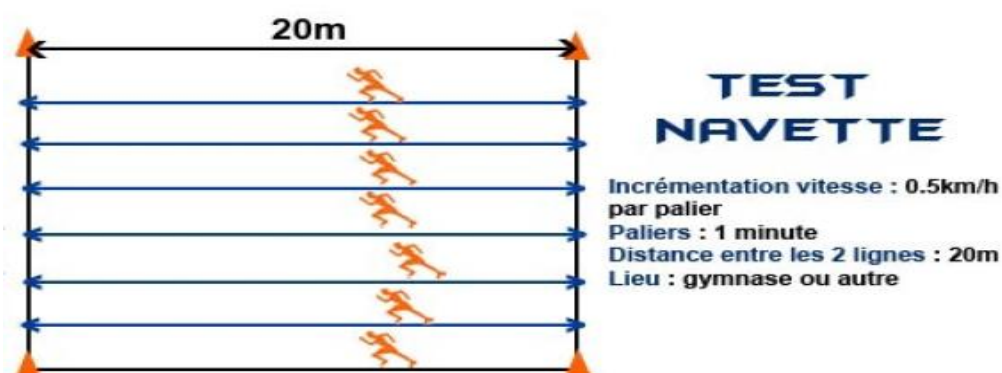
Il s'agit d'un test incrémental par paliers successifs de 200 m proposé par F. Conconi en 1982. Il est aussi utilisé pour évaluer la valeur du seuil anaérobie à travers l'évolution de la fréquence cardiaque suivant la puissance de l'exercice. Selon l'hypothèse de Conconi, la relation entre la fréquence cardiaque et la vitesse/puissance de l'exercice n'est pas linéaire jusqu'à l'épuisement. La droite s'infléchit à un moment donné où la fréquence cardiaque augmente moins vite que la vitesse de course. Ce point de déflexion correspondrait au seuil anaérobie (figure 08). En pratique, ce test est réalisé sur une piste de 400 m, balisée par des plots tous les 20 m. Le départ s'effectue à 8 km.h<sup>-1</sup> et le coureur augmente sa vitesse de 0,5 km.h<sup>-1</sup> par paliers de 200 mètres jusqu'à l'épuisement (l'incapacité de respecter l'allure imposée par la bande sonore). La VMA correspond au dernier palier terminé (Conconi et al., 1982).



**Figure 08 :** Le point de déflexion à partir de la fréquence cardiaque au cours du test Conconi (Conconi et al., 1996).

### 3.2.2.3. Test navette de 20 m

Il s'agit de même principe que le test UM-TT, mais ce test se réalise en navette tous les 20 m avec des incréments de la vitesse de 0,5 km.h<sup>-1</sup> toutes les minutes. Il s'agira de faire des allers-retours entre 2 lignes espacées de 20 m en suivant les bips sonores émis à chaque 20 m.



**Figure 09 :** Organisation du test navette de 20 m (Léger & Lambert, 1982)

### 3.2.2.4. *Le test de Brue derrière un cycliste*

Ce test est dérivé du test de course de l'UM-TT. Il consiste à courir autour d'une piste de 400 m derrière un cycliste expérimenté qui a une fréquence de pédalage déterminée par des signaux sonores émis par un micro-ordinateur fixé sur le vélo. La vitesse de départ est fixée à 8 km.h<sup>-1</sup> et augmente de 0,3 km.h<sup>-1</sup> à chaque palier de 30 secondes. L'épreuve est terminée quand le sujet est incapable de suivre la cadence imposée par le cycliste (lièvre). La VMA correspond au dernier palier effectué de 30 secondes (Brue, 1985).



**Figure 10** : Organisation du test de Brue (Breu, 1985)

### 3.2.2.5. *Le test de Lavoie*

C'est un test spécifique pour les nageurs (équivalent de l'UM-TT en course à pied). Il s'agit d'un test progressif effectué dans l'eau. Le sujet nage à allure progressive et la vitesse augmente de 0,050 m/s par paliers de 2 min. La vitesse est donnée par un observateur marchant le long du bassin (à l'aide d'un enregistrement audio). La VMA correspond au dernier palier franchi par le nageur (Lavoie et al., 1985).

### 3.2.2.6. *Le test de VAMEVAL*

Ce test est en fait une amélioration du test de l'UM-TT et du test navette (abrégié dans cette thèse VMA-T, et utilisé comme un test de référence). Il s'agit du même protocole, mais les plots sont placés sur la piste tous les 20 m, et l'incrémentation de la vitesse est de 0,5 km.h<sup>-1</sup> toutes les minutes ce qui correspond au franchissement d'un palier (figure 11).



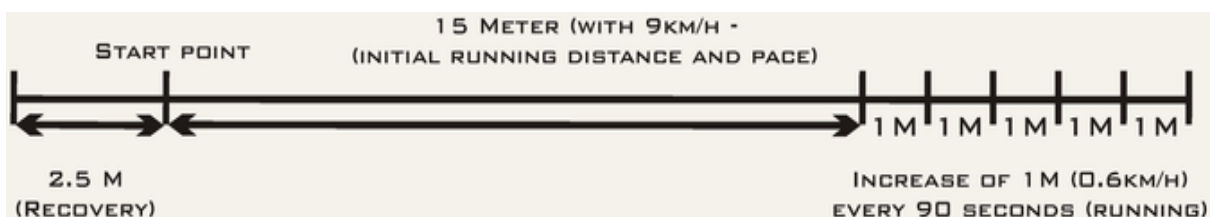
**Figure 11** : Organisation du test de VAMEVAL (Cazorla, 1990)

### 3.2.3. *Epreuves intermittentes à intensité progressive (protocole triangulaires intermittents)*

Les tests de ce genre s'effectuent en intégrant des périodes de récupération plus ou moins courtes dans un exercice par paliers d'intensité progressive et maximale ou la vitesse est réglée au moyen d'une bande sonore. On retient alors la dernière vitesse réalisée (dernier palier) qui sera la VMA du sportif.

#### 3.2.3.1. *Test de Carminatti*

Le test de Carminatti porte le nom de son fondateur (Lorival J. Carminatti). Il s'agit d'un test intermittent pour évaluer l'endurance aérobie des joueurs de football. Le test consiste à courir sur une distance de 15 m en aller-retour. Le sujet doit effectuer 5x12s à une vitesse progressive jusqu'à l'épuisement séparés par des périodes de récupération de 6 s (figure 12). Chaque étape dure 90 secondes et la vitesse augmente d'une distance de 1 m (soit  $0,6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  par étape). Le test démarre avec une allure de course de  $9 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ , et se termine lorsque le sujet n'arrive plus à suivre le rythme imposé par l'audio bip. La dernière étape effectuée sera la VMA du sportif (Carminatti et al., 2004).



**Figure 12**: Organisation du test de Carminatti (Carminatti, 2004)



### 3.2.3.2. Test incrémental

Il s'agit d'un test incrémental par étapes de 3 minutes. La vitesse initiale a été fixée à partir de la vitesse moyenne maintenue sur 3000 m. Les incréments de vitesse entre les étapes ont été fixés à 1 km.h<sup>-1</sup>. Toutes les étapes ont été suivies d'un repos de 30 secondes. La VMA du coureur correspond à la vitesse du dernier palier (Billat et al., 2004).

### 3.2.3.3. Yo-Yo intermittent test

Ce test est composé d'intervalles de course de 2x20 m (entre la zone B et C) entrecoupés de courtes périodes de récupération de 10 s (entre la zone A et B) (figure 13). Le sujet doit faire des allers-retours à travers les deux lignes parallèles situées à 20 m l'une de l'autre, et obtient une période de récupération de 10 secondes avant la navette ou le niveau suivant. Le test commence à une vitesse de 10 km.h<sup>-1</sup> et la vitesse augmente de 0,5 km.h<sup>-1</sup> à chaque palier de 40m (allure imposée par un audio bip). On retient le dernier palier effectué comme la VMA (Bangsbo et al., 2008).



**Figure 13:** L'organisation de Yo-Yo intermittent test (Bangsbo et al., 2008)

### 3.2.3.4. Le 30-15 intermittent fitness test

Selon Martin Boucheit, ce test a été développé pour fournir à l'entraîneur une image globale de la capacité physique du sportif. Le test se compose de périodes de course de 30 secondes, entrecoupées de périodes de récupération active de 15 secondes. Il s'agit de courir en aller-retour, entre les deux lignes espacées de 40 m (figure 14), à une vitesse réglée par un audio-

bip. La vitesse de départ est de  $8 \text{ km.h}^{-1}$ , est ensuite augmentée de  $0,5 \text{ km.h}^{-1}$  à chaque palier. Les 4 zones de tolérance d'une largeur de 3 m (au milieu et les deux extrémités) existent pour aider les athlètes à ajuster leur vitesse (c'est-à-dire accélérer ou ralentir). Le test est terminé lorsque le sujet n'est plus capable d'entrer dans les zones de tolérance 3 fois de suite. La vitesse maintenue lors du dernier palier complété entièrement est retenue comme VMA intermittente (Buchheit, 2008).



**Figure 14:** L'organisation du 30-15 intermittent fitness test (Buchheit, 2008)

### 3.2.3.5. Le 45/15

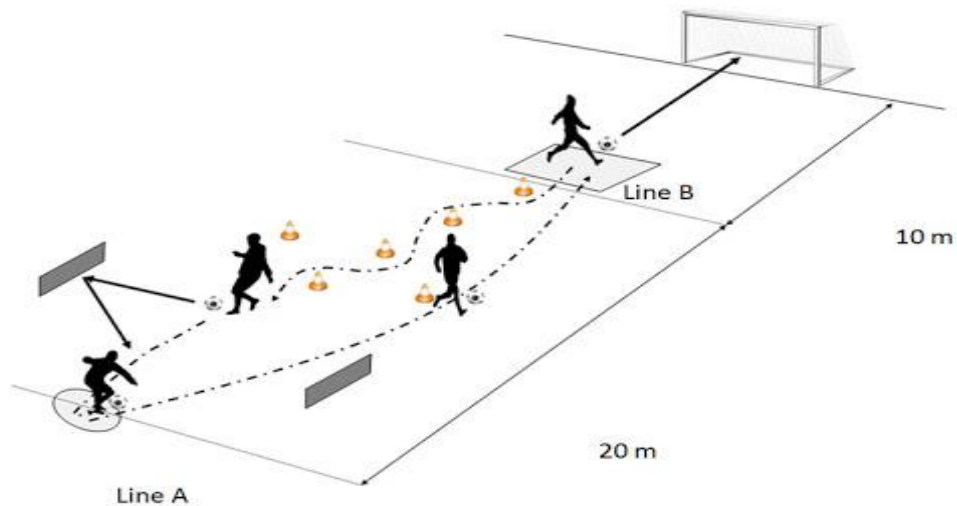
Ce test est proposé par Georges Gacon en 1994 (entraîneur de l'équipe nationale de France de demi-fond du 1984 à 1994), et récemment validé par Castagna et al. (2014) chez des jeunes joueurs de Football. Le test est constitué d'une période de course de 45 secondes suivie d'une 15 seconde de marche pour chaque palier (1 min). La vitesse augmente de  $6,25 \text{ m}$ , soit  $0,5 \text{ km.h}^{-1}$  par palier. La vitesse initiale est de  $8 \text{ km.h}^{-1}$ , ce qui équivaut à une distance de  $100 \text{ m}$ . Une fois le sportif arrive au 1<sup>er</sup> plot, il marche jusqu'au le prochain plot placé  $6,25 \text{ m}$  plus loin, puis repart vers le point de départ (sens inverse) ce qui donne :  $100 + 6,25 = 106,25 \text{ m}$  ( $8,5 \text{ km.h}^{-1}$ ), après une courte durée de récupération (15s), puis il repart dans l'autre sens, mais avec un plot plus loin (+  $6,25 \text{ m}$ ). Le sujet continue sous cette forme. Le test est terminé lorsque le sportif n'arrive plus d'atteindre le plot suivant (figure 15). Le dernier palier réalisé entièrement sera retenu comme la VMA (Castagna et al., 2014).



**Figure 15** : l'organisation du test de 45/15

### 3.2.3.6. Footeval

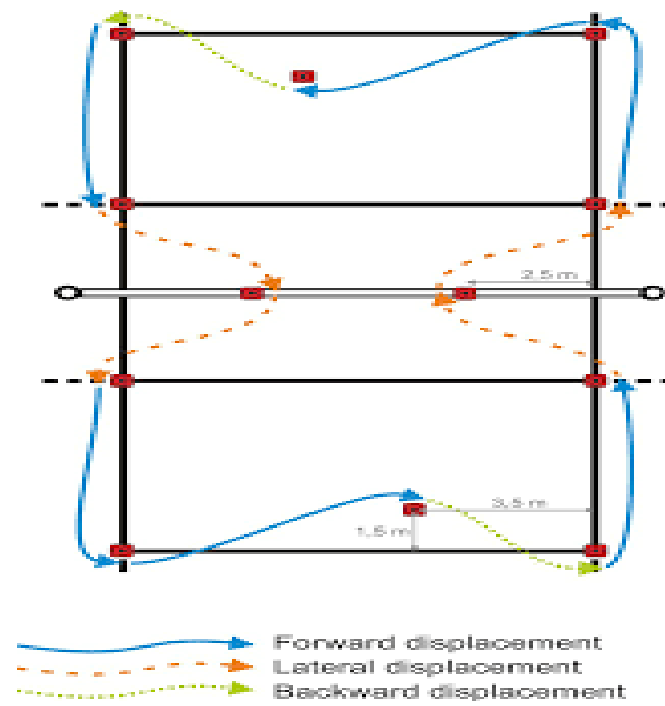
Le Footeval est un test incrémental et intermittent conçu pour l'évaluation spécifique dans le Football. Le test est basé sur le test de navette de 20 m. Chaque étape dure 1 min suivie d'une phase de récupération de 30 secondes avec une intégration de dribble d'un ballon de football pour connaître les compétences techniques des joueurs. Le test se déroule avec un CD-audio permet de gérer la vitesse avec un bip chaque 20 m. Le premier palier débutera à une vitesse de  $6,5 \text{ km.h}^{-1}$  et la vitesse augmente de  $0,5 \text{ km.h}^{-1}$ . Le joueur prend le ballon et commence par un slalom, à la sortie de ce dernier, passe le ballon contre une barrière située à droite ou à gauche et fait un contrôle orienté vers une ligne limitée par deux plots, puis fait demi-tour vers la zone de départ pour réaliser une frappe et enchaîner avec un deuxième ballon (figure 16). Le test prend fin soit lorsque le joueur ne soit pas en mesure de suivre la piste audio, soit il commet deux erreurs techniques (mauvaise passe, perte du ballon dans le slalom ou lors de la passe). La VMA du joueur correspond à la vitesse établie au dernier palier (Manouvrier et al., 2016).



**Figure 16** : L'organisation du test de Footeval

### 3.2.3.7. Test d'endurance intermittent de volleyball

Ce test est spécifique pour les joueurs de volleyball. Il consiste à courir sur un circuit marqué par des cônes, sur le terrain de volleyball en utilisant différents mouvements spécifiques de volleyball (figure 17). Il s'agit de répéter des courses de 177 m à une vitesse progressivement contrôlée par des bips sonores. Chaque étape est constituée de 3 tours (59 m par tour), entrecoupées par une période de récupération de 30 secondes. L'épreuve démarre à  $6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  et la vitesse augmente de  $0,6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  à chaque étape de course jusqu'à l'épuisement. Le test est terminé lorsque le joueur ne parvient pas à rejoindre un plot deux fois consécutives. La vitesse atteinte à ce moment est considérée comme la VMA spécifique du joueur de volleyball (Rodríguez-Marroyo et al., 2017).



**Figure 17 :** L'organisation du test d'endurance intermittent de volleyball (Rodríguez-Marroyo et al., 2017)

**Tableau 13:** Récapitulatif des principaux tests de mesure de la VMA

Type de tests	Tests	Matériel	Incrément de vitesse par palier	Disciplines	Evaluation de la VMA
<b>Protocoles Rectangulaires</b>	Test demi-Cooper	Piste Chronomètre	6 min	Pratiquement toutes les disciplines. Une préférence pour les disciplines de course à pied	La plus grande distance parcourue
	Test de 5 min (Chamoux et al., 1996)	Piste Chronomètre	5 min	Pratiquement toutes les disciplines. Une préférence pour les disciplines de course à pied	La plus grande distance parcourue
<b>Protocoles Triangulaires Continus</b>	UM-TT (Léger & Boucher, 1980)	Piste Plots tous les 50m Cassette enregistrée	1 km.h <sup>-1</sup> par palier de 2 min	Pratiquement toutes les disciplines. Une préférence pour les disciplines de course à pied	Vitesse de dernier palier réalisé
	(Conconi et al., 1982)	Piste Plots tous les 20m Cassette enregistrée	0,5 km.h <sup>-1</sup> par palier de 200m	Pratiquement toutes les disciplines. Une préférence pour les disciplines de course à pied	Vitesse de dernier palier réalisé
	Test navette de 20 m (Léger & Lambert, 1982)	Surface plane de 20 m Plots Cassette enregistrée	0,5 km.h <sup>-1</sup> par palier de 1 min	Sport collectif. Une préférence pour les pratiques sportives en salle	Vitesse de dernier palier réalisé
	Test de Brue (Brue, 1985)	Parcours plat Bicyclette adaptée Enregistrement	0,3 km.h <sup>-1</sup> par palier de 30 sec	Les disciplines de course à pied	Vitesse de dernier palier réalisé
	Test de Lavoie (Lavoie et al., 1985)	Piscine Cassette enregistrée	0,050 m/s par palier de 2 min	Natation	Vitesse de dernier palier réalisé
	Test de VAMEVAL (Cazorla, 1990)	Piste Plots tous les 50m Cassette enregistrée	0,5 km.h <sup>-1</sup> par palier de 1 min	Pratiquement toutes les disciplines. Une préférence pour les disciplines de course à pied	Vitesse de dernier palier réalisé
<b>Protocoles Triangulaires Intermittents</b>	Test de Carminatti (Carminatti et al., 2004)	Surface plane Plots Cassette enregistrée	0,6 km.h <sup>-1</sup> par palier de 90 sec	Football	Vitesse de dernier palier réalisé
	Test incrémental (Billat et al., 2004)	Piste Cassette enregistrée	1 km.h <sup>-1</sup> par palier de 3 min	Course à pied	Vitesse de dernier palier réalisé
	Yo-Yo intermittent test (Bangsbo et al., 2008)	Surface plane Plots Cassette enregistrée	0,5 km.h <sup>-1</sup> par palier de 40 m	Sport collectif	Vitesse de dernier palier réalisé
	Le 30-15 Intermittent fitness test (Buchheit, 2008)	Surface plane de 40m Plots Cassette enregistrée	0,5 km.h <sup>-1</sup> par palier de 45 sec	Sport collectif	Vitesse de dernier palier réalisé
	Le 45/15 (Castagna et al., 2014)	Piste Plots à 100m puis tous les 6m25 Cassette enregistrée	0,5 km.h <sup>-1</sup> par palier de 1 min	Sport collectif Course à pied	Vitesse de dernier palier réalisé
	Footeval (Manouvrier et al., 2016)	Terrain de Football Ballons de Foot Plots 2 barrières Cassette enregistrée	0,5 km.h <sup>-1</sup> par palier de 90 sec	Football	Vitesse de dernier palier réalisé
	Test d'endurance intermittent de Volleyball (Rodríguez-Marroyo et al., 2017)	Terrain de Volleyball Plots Cassette enregistrée	0,6 km.h <sup>-1</sup> par palier de 177 m	Volleyball	Vitesse de dernier palier réalisé

## **Conclusion**

Nous avons étudié le demi-fond et ses déterminants. La performance dans cette discipline se base principalement sur l'amélioration de l'endurance du sportif. L'évaluation de celle-ci nécessite de connaître préalablement l'un des paramètres physiologiques associés à la capacité de performance en course de demi-fond tel que la VMA. Cette référence est un facteur crucial pour prédire les performances de course en demi-fond et quantifier les charges d'entraînement. Par ailleurs, en étudiant les tests d'évaluation de la VMA, nous avons remarqué que la plupart des épreuves dites intermittentes sont développées pour les sports collectifs. Bien que la plupart des tests tiennent compte de la spécificité de la discipline, aucune étude n'a présenté un test intermittent adapté en fonction du mode d'entraînement des athlètes de demi-fond pour évaluer la VMA. Par conséquent, dans les chapitres suivants, nous essaierons de répondre à l'ensemble des questions posées précédemment.

**DEUXIÈME PARTIE :**  
**METHODOLGIE, ANALYSE ET DISCUSSION**  
**DES RESULTATS**

*La théorie, c'est quand on sait tout et que rien ne fonctionne. la pratique, c'est quand tout fonctionne et que personne ne sait pourquoi.*

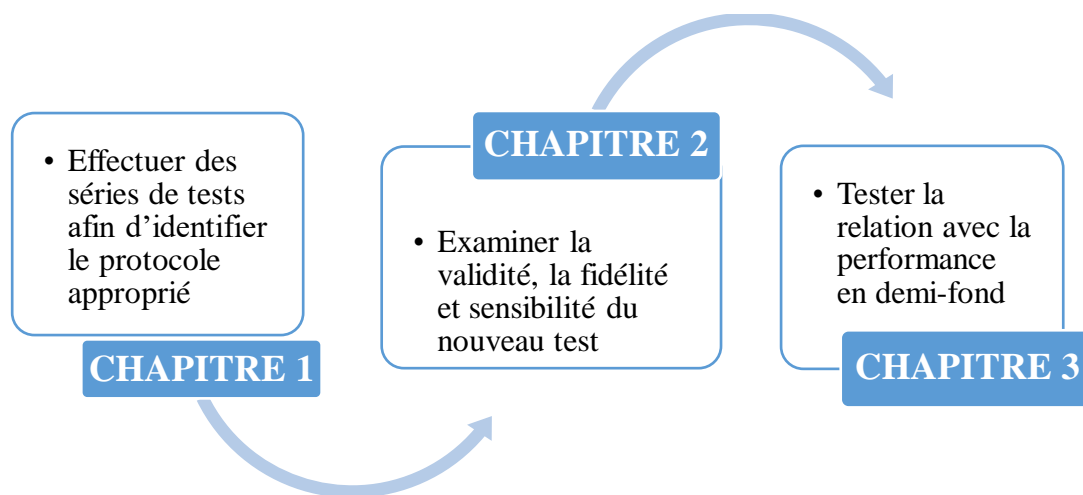
*ALBERT EINSTIEN*

---



## METHODOLOGIE GENERALE

Cette étude a été scindée en trois parties. La première (étude préliminaire) avait pour objectif de définir le protocole de test pour déterminer la VMA chez les athlètes de demi-fond. Trois différents tests ont été réalisés en les comparant avec un test classique de course sur piste afin d'adopter le test de l'étude. La deuxième partie avait pour objectif de valider la méthode obtenue sur un échantillon plus large de coureurs. Le but de la troisième partie était d'examiner la relation entre le nouveau test et la performance en demi-fond. Toutes les études ont été réalisées de mars 2019 à mai 2021. Pour l'ensemble de ces travaux, nous avons utilisé la méthode descriptive.



**Figure 18** : Design de l'étude

### CARACTERISTIQUES DES SUJETS

Lors de l'ensemble des études, les participants étaient tous des coureurs de demi-fond, ayant au moins trois séances d'entraînements par semaine. Dans toutes les études, il a été demandé aux sujets de ne pas s'engager dans une compétition et d'éviter un entraînement de haute intensité au cours des 48 heures qui précédaient chaque test. L'ensemble des sujets ont été informés sur les mesures réalisées avant le début de chaque session expérimentale. Le tableau 14 présente l'ensemble des caractéristiques biométriques des sujets des cinq expérimentations.

**Tableau 14** : Caractéristiques biométriques des sujets des 5 études (Moyenne  $\pm$  Ecart-Type).

Etudes Sujets	Chapitre I : Etude préliminaire			Chapitre II		Chapitre III
	Etude 1	Etude 2	Etude 3	Etude 4		Etude 5
				Phase 1	Phase 2	
Nombre de sujets	17	18	19	47	26	19
Age (années)	18,2 $\pm$ 1,5	22,6 $\pm$ 3,2	21,3 $\pm$ 2,2	21,4 $\pm$ 2,9	17,5 $\pm$ 1,0	20,3 $\pm$ 1,7
Masse corporelle (kg)	68 $\pm$ 4,0	67,7 $\pm$ 2,8	68,8 $\pm$ 3,8	76,6 $\pm$ 4,9	65,3 $\pm$ 5,2	69,5 $\pm$ 4,1
Taille (cm)	175,2 $\pm$ 4,5	177,0 $\pm$ 4,0	175,8 $\pm$ 4,5	175,4 $\pm$ 4,3	171,9 $\pm$ 3,8	176,1 $\pm$ 4,1

### Les variables parasites

Les variables parasites sont des variables non maîtrisées et qui sont susceptibles d'avoir une influence sur les résultats. Dans les 5 études, nous identifions les variables parasites suivantes :

- Les conditions climatiques ;
- Niveau de motivation des sujets ;
- L'alimentation ;
- Phénomènes d'apprentissage.

<p style="text-align: center;"><b>CHAPITRE I</b></p> <p style="text-align: center;"><b>ETUDE PRELIMINAIRE : DETERMINATION DU PROTOCOLE DE TEST DE L'ETUDE</b></p>
---

## Présentation du chapitre I

---

### 1. INTRODUCTION

#### 2. ETUDE 1

##### 2.1. Objectif

##### 2.2. Matériels et méthodes

*2.2.1. Sujets*

*2.2.2. Procédure*

*2.2.3. Protocole de test 80/20<sub>VMA</sub>*

*2.2.4. Le test de VAMEVAL*

*2.2.5. Analyse statistique*

##### 2.3. Résultats

##### 2.4. Discussion

*2.4.1. La vitesse maximale aérobie*

*2.4.2. La fréquence cardiaque maximale*

*2.4.3. La lactatémie*

##### 2.5. Conclusion

#### 3. ETUDE 2

##### 3.1. Objectif

##### 3.2. Matériels et méthodes

*3.2.1. Sujets*

*3.2.2. Procédure*

*3.2.3. Protocole de test 150/50<sub>VMA</sub>*

*3.2.4. Le test de VAMEVAL*

*3.2.5. Analyse statistique*

**3.3. Résultats**

**3.4. Discussion**

**3.5. Conclusion**

**4. ETUDE 3**

**4.1. Objectif**

**4.2. Matériels et méthodes**

*4.2.1. Sujets*

*4.2.2. Procédure*

*4.2.3. Protocole de test 180/20<sub>IAT</sub>*

*4.2.4. Le test de VAMEVAL*

*4.2.5. Analyse statistique*

**4.3. Résultats**

**4.4. Discussion**

**4.5. Conclusion**

## 1. INTRODUCTION

Les tests de VMA sont régulièrement effectués par les athlètes au cours de différents cycles de préparations afin de prescrire les charges d'entraînement. Plusieurs études aptes d'évaluer la VMA (Daniels et al., 1984; Cazorla, 1990) ont recommandé le choix des tests triangulaires (un effort par paliers d'intensité croissante) pour arriver à une vitesse terminale proche à la VMA. De plus, il est bien documenté que l'entraînement des athlètes de demi-fond se caractérise par des efforts intermittents rapides (Berryman et al., 2018; Vuorimaa et al., 2008). Face à ce constat, envisager un protocole triangulaire et intermittent à la fois pour déterminer la VMA chez les athlètes de demi-fond pourrait représenter plusieurs avantages, à condition d'être validé par comparaison avec un autre protocole déjà validé. C'est pourquoi, tous les tests présentés dans cette étude sont des protocoles triangulaires intermittents comparés avec un test déjà validé.

Ce chapitre comprend trois études différentes et l'objectif était de définir le protocole de test à adopter pour la suite de l'étude. Pour cela nous avons développé trois nouveaux tests intermittents en les comparant avec un test standard de course sur piste (VAM-T). Le test qui donne des vitesses finales les plus proches aux VMA déterminées au cours de test de référence sera sélectionné pour être validé sur un échantillon plus large de coureurs (chapitre 2).

.....

## 2. ETUDE 1

### Proposition d'un test d'effort intermittent pour déterminer la vitesse maximale aérobie (80/20<sub>VMA</sub>)

Article accepté par la revue «journal of sport science technology and physical activities » (Décembre 2019)

#### 2.1. Objectif

Le but de cette étude était de comparer deux tests d'évaluation de la VMA: test de la présente étude appelé 80/20<sub>VMA</sub> vs test de VAMEVAL (VAM-T) en terme de VMA, la fréquence cardiaque (FC), et de lactatémie (LA).

#### 2.2. Matériels et méthodes

##### 2.2.1. Sujets

Dix-sept athlètes de sexe masculin en bonne santé âgés de 16 à 21 ans ont participé volontairement à l'étude suite d'un consentement éclairé (caractéristiques anthropométriques présentées dans le tableau 15). Il s'agit d'athlètes entraînés spécialiste de demi-fond (associations : ATHLETIC CLUB 27 et AFFAK, commune de Mostaganem), avec un volume moyen de quatre séances d'entraînements par semaine.

**Tableau 15** : Caractéristiques des sujets

n = 17	Age (années)	Masse corporelle (kg)	Taille (cm)
Moyenne	18,23	68	175,29
Ecart-type	1,52	4,07	4,59

##### 2.2.2. Procédure

L'étude s'appuie sur l'évaluation de deux épreuves, chaque sujet a réalisé deux évaluations séparées de 72 heures (ordre randomisé) :

- Un VAM-T pour la détermination de la VMA référence (VMA<sub>VAM-T</sub>);
- Un test de 80/20<sub>VMA</sub> pour pouvoir comparer les résultats obtenus entre les deux tests.

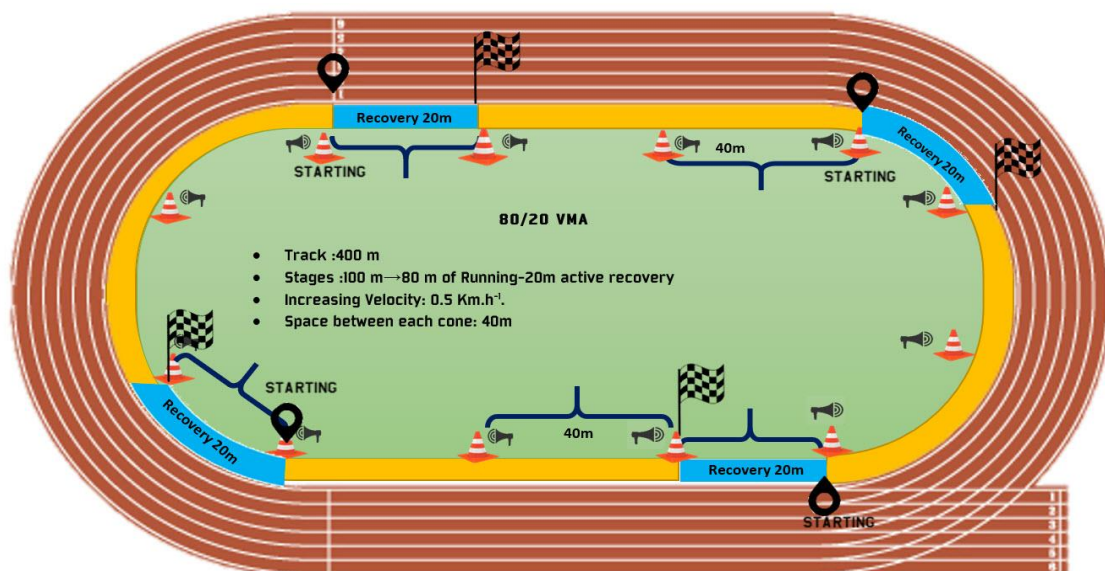
Les tests sont programmés au même moment de la journée, et dans les mêmes conditions expérimentales (température similaires entre 21 °C et 26 °C, et la vitesse du vent sur piste a

été contrôlée par un anémomètre portable: PCE-AM81). Les sujets n'ont pas été informés de la première valeur réalisée afin qu'ils ne cherchent pas pour objectif de la dépasser.

La nature maximale du  $80/20_{VMA}$  a été vérifiée par la mesure de la fréquence cardiaque et de la concentration du lactate sanguin. La fréquence cardiaque a été enregistrée au moyen d'un cardio-fréquencemètre (Polar RS300x). Des micro-prélèvements sanguins au niveau du lobe de l'oreille/doigt ont été effectués trois minutes après la fin de chaque test pour mesurer la concentration du lactate sanguin à l'aide d'un appareil Lactate Pro (LT-1710).

### 2.2.3. *Test 80/20<sub>VMA</sub>*

Le test peut s'effectuer sur une piste plate étalonnée de 200m ou 400m. Il consiste à suivre une vitesse de course réglée par des bips sonores émettant des bips à intervalles réguliers de 80m suivie d'une phase de récupération de 20m (80/20). A chaque bip, le sportif doit se trouver au niveau d'un des plots placés tous les 40 mètres sur la piste (figure 19). La vitesse augmente de  $0,5 \text{ km.h}^{-1}$  toutes les 200m ce qui correspond au franchissement d'un palier. La VMA correspond à la vitesse atteinte au dernier palier (tableau 16), qui sera ensuite appelée:  $VMA_{80/20}$ .



**Figure 19** : L'organisation matérielle du test  $80/20_{VMA}$

**Tableau 16** : Tableau de correspondance du test 80/20<sub>VMA</sub>

Paliers	VMA (km.h <sup>-1</sup> )	0.04	0.08	R	0.04	0.08	R	D
01	8	00:18,000	00:36,000	20	00:18,000	00:36,000	20	160
02	8.5	00:16,941	00:33,882	20	00:16,941	00:33,882	20	360
03	9	00:16,000	00:32,000	20	00:16,000	00:32,000	20	480
04	9.5	00:15,157	00:30,315	20	00:15,157	00:30,315	20	640
05	10	00:14,400	00:28,800	20	00:14,400	00:28,800	20	800
06	10.5	00:13,714	00:27,428	20	00:13,714	00:27,428	20	960
07	11	00:13,090	00:26,181	20	00:13,090	00:26,181	20	1120
08	11.5	00:12,521	00:25,043	20	00:12,521	00:25,043	20	1280
09	12	00:12,000	00:24,000	20	00:12,000	00:24,000	20	1440
10	12.5	00:11,520	00:23,040	20	00:11,520	00:23,040	20	1600
11	13	00:11,076	00:22,153	20	00:11,076	00:22,153	20	1760
12	13.5	00:10,666	00:21,333	20	00:10,666	00:21,333	20	1920
13	14	00:10,285	00:20,571	20	00:10,285	00:20,571	20	2080
14	14.5	00:09,931	00:19,862	20	00:09,931	00:19,862	20	2240
15	15	00:09,600	00:19,200	20	00:09,600	00:19,200	20	2400
16	15.5	00:09,290	00:18,580	20	00:09,290	00:18,580	20	2560
17	16	00:09,000	00:18,000	20	00:09,000	00:18,000	20	2720
18	16.5	00:08,727	00:17,454	20	00:08,727	00:17,454	20	2880
19	17	00:08,470	00:16,941	20	00:08,470	00:16,941	20	3040
20	17.5	00:08,228	00:16,457	20	00:08,228	00:16,457	20	3200
21	18	00:08,000	00:16,000	20	00:08,000	00:16,000	20	3360
22	18.5	00:07,783	00:15,567	20	00:07,783	00:15,567	20	3520
23	19	00:07,578	00:15,157	20	00:07,578	00:15,157	20	3680
24	19.5	00:07,384	00:14,769	20	00:07,384	00:14,769	20	3840
25	20	00:07,200	00:14,400	20	00:07,200	00:14,400	20	4000
26	20.5	00:07,024	00:14,048	20	00:07,024	00:14,048	20	4160
27	21	00:06,857	00:13,714	20	00:06,857	00:13,714	20	4320
28	21.5	00:06,697	00:13,395	20	00:06,697	00:13,395	20	4480
29	22	00:06,545	00:13,090	20	00:06,545	00:13,090	20	4640
30	22.5	00:06,400	00:12,800	20	00:06,400	00:12,800	20	4800
31	23	00:06,260	00:12,521	20	00:06,260	00:12,521	20	4960
32	23.5	00:06,127	00:12,255	20	00:06,127	00:12,255	20	5120
33	24	00:06,000	00:12,000	20	00:06,000	00:12,000	20	5280
34	24.5	00:05,877	00:11,755	20	00:05,877	00:11,755	20	5440
35	25	00:05,760	00:11,520	20	00:05,760	00:11,520	20	5600

**Note** : R : récupération (m). D : distance parcourue (m)

#### 2.2.4. *Le test de VAMEVAL*

Les détails du test de VAMEVAL ont été décrits dans la première partie (chapitre III, section 3.2.2.6.).

#### 2.2.5. *Analyse statistique*

Les résultats sont exprimés en moyenne  $\pm$  écart type. Des coefficients de corrélation ont été calculés entre les deux tests en utilisant un test de Pearson ( $r$ ), complétée par des calculs des coefficients de variation (CV) pour vérifier la relation entre les résultats obtenus par les deux



tests. Un test-*t* de Student pour des échantillons appariés a été utilisé, cet outil statistique a pour but de définir des différences significatives entre les deux tests comparés. L'analyse de Bland-Altman (Bland et Altman, 1986) a été également utilisée afin d'estimer la concordance et les limites d'agrément entre les valeurs obtenues lors du test 80/20<sub>VMA</sub> et VAM-T. Le niveau de signification a été établi à  $p < 0,05$ . L'analyse statistique a été réalisée sous IBM SPSS STATISTIC version 23.

### 2.3. Résultats

Les valeurs de VMA ainsi que les autres variables mesurées sont présentées dans le tableau 17. Les résultats de ce travail révèlent une différence significative entre les deux tests concernant la variable principale de cette étude (VMA). La moyenne de VMA obtenue lors du VAM-T ( $17,3 \text{ km.h}^{-1} \pm 1,3$ ) était inférieure à celle mesurée à l'aide du 80/20<sub>VMA</sub> ( $18,7 \text{ km.h}^{-1} \pm 1,2$ ), malgré un fort coefficient de corrélation ( $r = 0,93$ ,  $p < 0,001$ ). Les limites d'agrément à 95% entre les valeurs de VMA déterminées par VAM-T ( $VMA_{VAM-T}$ ) et celles mesurées par 80/20<sub>VMA</sub> ( $VMA_{80/20}$ ) étaient  $-0,45$  à  $2,25 \text{ km.h}^{-1}$  (biais =  $-1,35 \text{ km.h}^{-1}$ ).

Concernant la FCmax, aucune différence significative enregistrée entre les deux tests. La FCmax moyenne était à  $190,9 \pm 2,2 \text{ bpm}$  pour VAM-T,  $191,8 \pm 3,3 \text{ bpm}$  pour 80/20<sub>VMA</sub> ( $r = 0,70$ ,  $p = 0,002$ ). Enfin, les valeurs de la concentration en lactates sanguins relevées durant 80/20<sub>VMA</sub> sont supérieures à celle enregistrées durant VAM-T. Les moyennes après chaque test étaient  $11,0 \pm 0,4 \text{ mmol.L}^{-1}$  pour VAM-T, et  $11,3 \pm 0,5 \text{ mmol.L}^{-1}$  pour 80/20<sub>VMA</sub>, mais cet écart n'est pas significatif malgré un faible coefficient de corrélation ( $r = 0,28$ ,  $p = 0,271$ ).

**Tableau 17** : Paramètres physiologiques mesurées lors des deux tests

Variables	VAM-T	80/20 <sub>VMA</sub>	<i>T</i>	<i>P</i>
VMA (km.h <sup>-1</sup> )	17,3 ± 1,3	18,7 ± 1,2*	-12,13	< 0,001
CV (%)	7,6	6,8		
FCmax (bpm)	190,9 ± 2,2	191,8 ± 3,3	- 1,55	0,140
CV (%)	1,1	1,7		
LA (mmol.L <sup>-1</sup> )	11,0 ± 0,4	11,3 ± 0,5	- 1,64	0,119
CV (%)	3,9	4,8		

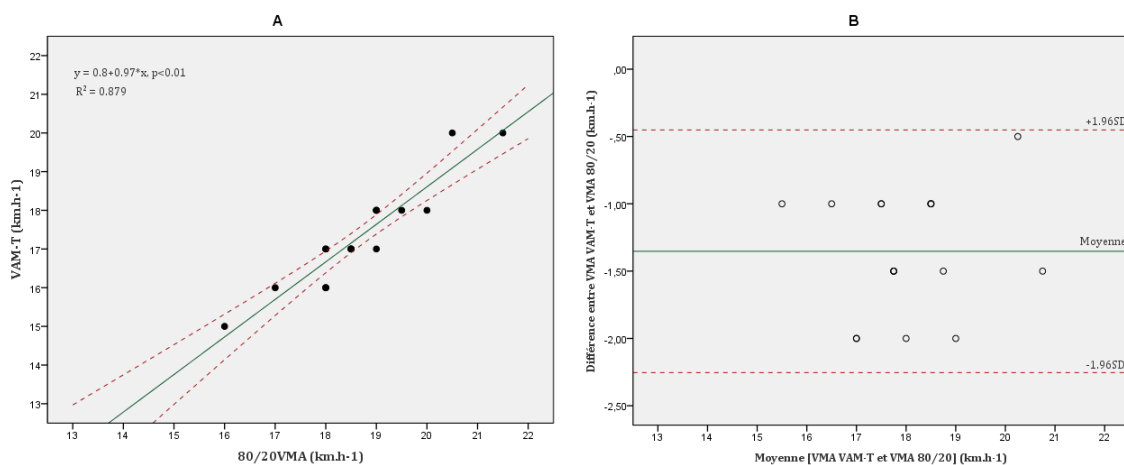
\*: Différence significative vs test VAM-T,  $p < 0,05$ . CV (%) : Coefficient de variation. *t* : *t* de student. *p* : Valeur de *P*. FCmax : Fréquence cardiaque maximale. LA : Lactatémie.

## 2.4. Discussion

L'objectif de cette étude était de comparer les réponses physiologiques et la VMA au cours d'un test progressif (VAM-T) par rapport à un nouveau test de course sur piste (80/20<sub>VMA</sub>). Les résultats ont montré des valeurs de VMA significativement différentes entre les deux tests de terrain. Par contre, aucune différence de FC<sub>max</sub> et lactatémie de fin d'effort n'a été observée entre les deux tests.

### 2.4.1. *La vitesse maximale aérobie*

Dans notre étude, on a enregistré une différence entre VMA<sub>VAM-T</sub> et VMA<sub>80/20</sub> de 1,4 km.h<sup>-1</sup> en moyenne, soit une différence de 8%. À titre individuel, les résultats ont montré une variabilité des VMAs obtenues dans la mesure où 8 athlètes sur 17, soit 47% ont un écart plus de 1 km.h<sup>-1</sup> avec un risque d'erreurs qui n'excède pas 2 km.h<sup>-1</sup>. La figure 20A illustre une relation relativement linéaire entre les résultats des deux tests. Ces résultats sont différents à d'autres études comparant des tests d'évaluation de la VMA. En effet, Berthon et al. (1997) ont montré que la VMA moyenne obtenue à partir d'un test de 5 min (14,8 km.h<sup>-1</sup>) n'était pas différente de la VMA atteinte lors du test UM-TT (14,6 km.h<sup>-1</sup>). Bellenger et al. (2015) ont aussi trouvé des valeurs identiques de VMA entre UM-TT et des distances comprises entre 1 600 et 2 200 m. L'analyse de Bland-Altman fait apparaître les limites de concordance entre VMA<sub>VAM-T</sub> et VMA<sub>80/20</sub> (figure 20B) avec des limites d'agrément de  $\pm 2,1$  km.h<sup>-1</sup>. De plus, l'étude comparative a montré que la durée totale du 80/20<sub>VMA</sub> était 1,16 fois (en moyenne) plus longue par rapport au VAM-T. Ceci explique en partie la différence de VMA entre les deux tests.



**Figure 20 :** (A) Relation entre VMA<sub>VAM-T</sub> et VMA<sub>80/20</sub>. (B) Concordance entre VMA<sub>VAM-T</sub> et VMA<sub>80/20</sub>: graphique de Bland-Altman

#### 2.4.2. La fréquence cardiaque maximale

Les valeurs de la FCmax n'étaient pas différentes entre les deux tests (tableau 17), et le port d'un cardio-fréquencemètre au cours des deux épreuves permet d'enregistrer une FCmax proche du maximale théorique (soit  $FC_{max} = 220 - \text{âge}$ ) pour tous les sujets. Nos résultats sont en accord avec ceux rapportés dans la littérature (Fraisse et al., 1991; Lacour et al., 1991; Rochcongar et Monod, 2009) qui montrent que l'un des principaux critères de maximalité ; une fréquence cardiaque de fin d'effort supérieure à 90% de la FCmax théorique, et qui pourrait expliquer ces difficultés de différenciation entre les deux tests.

#### 2.4.3. La lactatémie

La concentration du lactate sanguin est un bon indicateur biologique largement utilisé (Petibois et al., 2001). Aucune différence n'est à relever entre les deux tests, pourtant les travaux de Léger et al. (2001) ont montré la variation de la cinétique de la lactatémie en fonction des protocoles utilisés triangulaire ou rectangulaire. Les résultats de ce travail montrent que le 80/20<sub>VMA</sub> entraîne une légère augmentation moyenne de lactate de 0,3 mmol.L<sup>-1</sup> (en moyenne) en comparaison avec VAM-T. Cette faible différence peut être expliquée par l'incrémentation de la vitesse de 0,5 km.h<sup>-1</sup> entre deux paliers durant les deux tests, et qui implique une sollicitation similaire de la glycolyse lactique. Le facteur important est la récupération de 20m existante dans le 80/20<sub>VMA</sub>. Les investigations ont montré que le 80/20<sub>VMA</sub> était mieux toléré par les athlètes comparativement au test VAM-T à cause de l'intégration des temps de récupération au cours du 80/20<sub>VMA</sub>. Donc le 80/20<sub>VMA</sub> peut-être perçu comme moins pénible.

### 2.5. Conclusion

En conclusion, est pour répondre au problème posé, la comparaison de ces deux tests permet d'affirmer que le 80/20<sub>VMA</sub> surestime la VMA, mais le temps de récupération intégré au cours du 80/20<sub>VMA</sub> favorise ce dernier en matière d'accessibilité. Cependant, les valeurs maximales de la fréquence cardiaque, et lactatémie dérivées du 80/20<sub>VMA</sub> sont comparable à un test classique tel que le VAM-T. Il faudrait bien sûr une mesure directe de la consommation maximale d'oxygène et une expérimentation impliquant des échantillons plus grande et plus diversifiés. Un jugement sur la validité de ce test ne saurait être formé qu'à ces conditions.

Cette étude a mis en évidence une différence notable de la VMA entre un test continu et un exercice intermittent. De ce fait, la prochaine étude traitera donc une comparaison entre un

nouveau protocole intermittent et le test référence de VMA afin de déterminer le test de l'étude.

.....

### 3. ETUDE 2

#### Comparaison de deux tests pour déterminer la vitesse maximale aérobie

#### Comparison of two tests to determine the maximal aerobic speed

Article accepté par la revue «Acta Facultatis Educationis Physicae Universitatis Comenianae » (Novembre 2020)

#### 3.1. Objectif

Les objectifs de cette étude étaient a) : de comparer les réponses physiologiques (VMA, FCmax et LA) dérivées d'un nouveau test intermittent de terrain intitulé 150/50<sub>VMA</sub> avec celles obtenues lors d'un test de référence (VAM-T), et b) : d'examiner la reproductibilité du 150/50<sub>VMA</sub>.

#### 3.2. Matériels et méthodes

##### 3.2.1. *Sujets*

Dix-huit hommes volontaires ont participé à cette étude. Leur âge, masse corporelle et taille sont respectivement de  $22.6 \pm 3.2$  ans,  $67.7 \pm 2.8$  kg et  $177 \pm 4$  cm (moyenne  $\pm$  SD). Tous étaient des spécialistes de demi-fond (quatre séances d'entraînements par semaine) et affiliés à la ligue d'athlétisme de Mostaganem, au sein de deux clubs (ATHLETIC CLUB 27 et AFFAK Mostaganem). Après avoir été informés des risques potentiels de l'étude, tous les sujets ont donné leur consentement écrit pour participer à cette étude.

##### 3.2.2. *Procédure*

Après avoir été informés des objectifs de l'étude, tous les sujets ont effectué successivement trois séances de tests, séparées chacune de 3 jours, dans un ordre aléatoire :

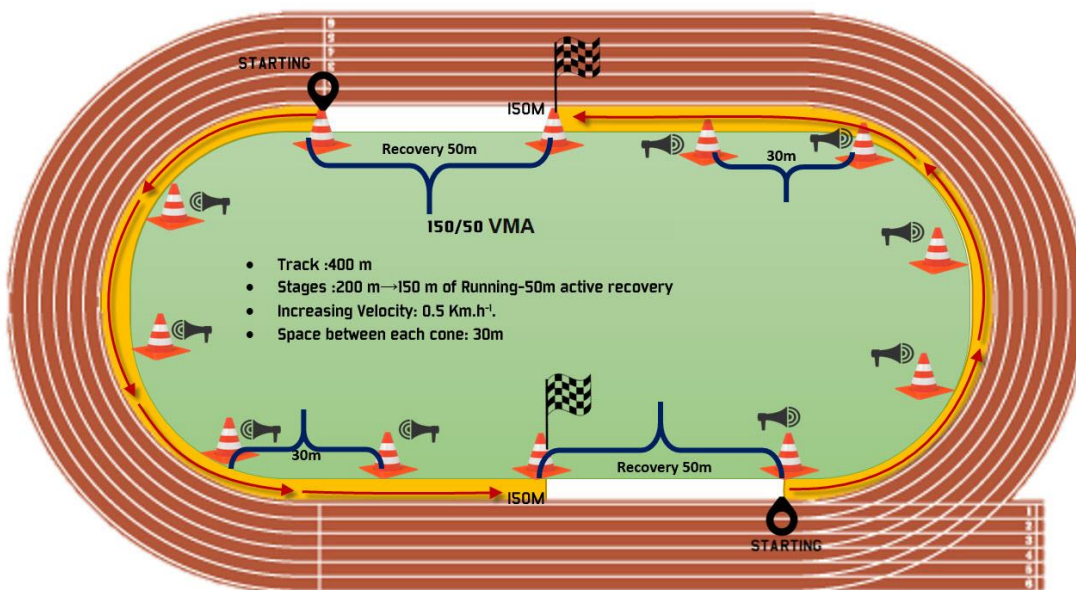
- Un VAM-T qui servira de VMA de référence ;
- Un premier 150/50<sub>VMA</sub> ;
- Un second 150/50<sub>VMA</sub> pour évaluer la reproductibilité.

Les tests ont été réalisés au même moment de la journée 3h après avoir mangé, et dans les mêmes conditions expérimentales (température entre 20 °C et 23 °C et vitesse du vent sur piste entre 1,2 m/s et 1,5 m/s mesuré par une station météo : PCE-AM81, PCE Instruments ®, Strasbourg, France). La fréquence cardiaque a été mesurée au moyen d'un cardio-

fréquence (Polar S610i, Polar Electro Oy, Kempele, Finland). Trois minutes à la fin de chaque test, un échantillon sanguin a été prélevé et analysé pour déterminer la concentration lactique (LT-1710, Lactate Pro, Arkray® Kyoto, Japan).

### 3.2.3. *Test 150/50<sub>VMA</sub>*

Le 150/50<sub>VMA</sub> est un test de course sur piste, constitué de courses répétées sur une distance de 150m effectuées jusqu'à l'épuisement entrecoupées par des périodes de récupération de 50m (150/50). Il se déroule sur une piste d'athlétisme de 400 m ( $150/50 = 200 \times 2 = 400$  m). La vitesse est imposée par un bip sonore à intervalles réguliers. À chaque bip, le sportif doit se trouver à l'un des palots placés sur la piste tous les 30 m (figure 21). Le test démarre à une vitesse de 8 km.h<sup>-1</sup> puis augmentation de l'intensité de 0,5 km.h<sup>-1</sup> toutes les 200m. Le dernier palier effectué complètement est considéré comme la VMA du sportif (tableau 18). La vitesse atteinte au dernier palier est appelée: VMA<sub>150/50</sub>.



**Figure 21** : L'organisation matérielle du test 150/50<sub>VMA</sub>

**Tableau 18** : Tableau de correspondance du test 150/50<sub>VMA</sub>

Paliers	VMA (km.h <sup>-1</sup> )	0.03	0.06	0.09	0.12	0.15	R	D
01	8	00:13,500	00:27,900	00:40,500	00:54,900	01:07,500	50	150
02	8.5	00:12,705	00:26,258	00:38,117	00:51,670	01:03,529	50	300
03	9	00:12,000	00:24,800	00:36,000	00:48,800	01:00,000	50	450
04	9.5	00:11,368	00:23,494	00:34,105	00:46,231	00:56,842	50	600
05	10	00:10,800	00:22,320	00:32,400	00:43,920	00:54,000	50	750
06	10.5	00:10,285	00:21,257	00:30,857	00:41,828	00:51,428	50	900
07	11	00:09,818	00:20,290	00:29,454	00:39,927	00:49,090	50	1050
08	11.5	00:09,391	00:19,408	00:28,173	00:38,191	00:46,956	50	1200
09	12	00:09,000	00:18,600	00:27,000	00:36,600	00:45,000	50	1350
10	12.5	00:08,640	00:17,856	00:25,920	00:35,136	00:43,200	50	1500
11	13	00:08,307	00:17,169	00:24,923	00:33,784	00:41,538	50	1650
12	13.5	00:08,000	00:16,533	00:24,000	00:32,533	00:40,000	50	1800
13	14	00:07,714	00:15,942	00:23,142	00:31,371	00:38,571	50	1950
14	14.5	00:07,448	00:15,393	00:22,344	00:30,289	00:37,241	50	2100
15	15	00:07,200	00:14,880	00:21,600	00:29,280	00:36,000	50	2250
16	15.5	00:06,967	00:14,400	00:20,903	00:28,335	00:34,838	50	2300
17	16	00:06,750	00:13,950	00:20,250	00:27,450	00:33,750	50	2450
18	16.5	00:06,545	00:13,527	00:19,636	00:26,618	00:32,727	50	2600
19	17	00:06,352	00:13,129	00:19,058	00:25,835	00:31,764	50	2750
20	17.5	00:06,171	00:12,754	00:18,514	00:25,097	00:30,857	50	2900
21	18	00:06,000	00:12,400	00:18,000	00:24,400	00:30,000	50	3150
22	18.5	00:05,837	00:12,064	00:17,513	00:23,740	00:29,189	50	3300
23	19	00:05,684	00:11,747	00:17,052	00:23,115	00:28,421	50	3450
24	19.5	00:05,538	00:11,446	00:16,615	00:22,523	00:27,692	50	3600
25	20	00:05,400	00:11,160	00:16,200	00:21,960	00:27,000	50	3750
26	20.5	00:05,268	00:10,887	00:15,804	00:21,424	00:26,341	50	3900
27	21	00:05,142	00:10,628	00:15,428	00:20,914	00:25,714	50	4050
28	21.5	00:05,023	00:10,381	00:15,069	00:20,427	00:25,116	50	4200
29	22	00:04,909	00:10,145	00:14,727	00:19,963	00:24,545	50	4350
30	22.5	00:04,800	00:09,920	00:14,400	00:19,520	00:24,000	50	4500
31	23	00:04,695	00:09,704	00:14,086	00:19,095	00:23,478	50	4650
32	23.5	00:04,595	00:09,497	00:13,787	00:18,689	00:22,978	50	4800
33	24	00:04,500	00:09,300	00:13,500	00:18,300	00:22,500	50	4950
34	24.5	00:04,408	00:09,110	00:13,224	00:17,926	00:22,040	50	5100
35	25	00:04,320	00:08,928	00:12,960	00:17,568	00:21,600	50	5250

**Note** : R : récupération (m). D : distance parcourue (m)

### 3.2.4. Le test de VAMEVAL

Les détails du test de VAMEVAL ont été décrits dans la première partie (chapitre III, section 3.2.2.6.).

### 3.2.5. Analyse statistique

Les résultats sont présentés sous forme de moyenne  $\pm$  écart type. La normalité des données a été vérifiée à l'aide d'un test Shapiro–Wilk. Le test-*t* de Student pour des échantillons appariés a été utilisé pour comparer les résultats entre les deux tests. Des coefficients de corrélation ont été calculés entre les deux tests en utilisant un test de Pearson (*r*) complété par le graphique de Bland-Altman afin de calculer les limites d'agrément. La reproductibilité a été évaluée par le

coefficient de variation (CV), le coefficient de corrélation intraclasse (ICC). Le niveau de signification statistique a été fixé à  $p < 0,05$ . Toutes les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide d'un logiciel statistique (SPSS version 23. Inc., IBM, Chicago, USA).

### 3.3. Résultats

Les résultats de la VMA et les réponses physiologiques maximales (FCmax et LA) pendant VAM-T et le premier 150/50<sub>VMA</sub> sont présentées dans le tableau 19. La moyenne de la VMA obtenue durant VAM-T était significativement inférieure à celle mesurée lors du 150/50<sub>VMA</sub>, malgré un coefficient de corrélation élevé ( $r = 0,71$ ;  $p = 0,001$ ).

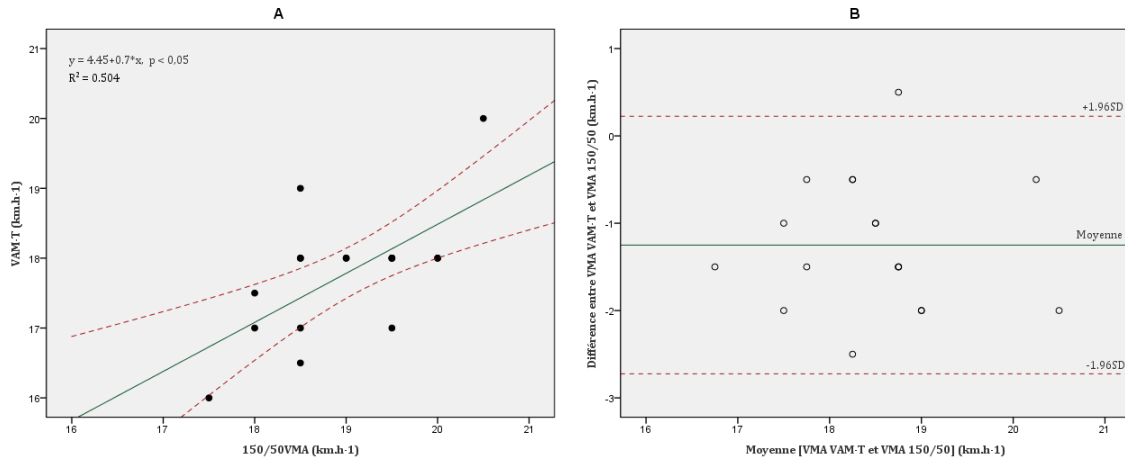
**Tableau 19** : Performances physiologiques réalisées au cours des deux tests

Variables	150/50 <sub>VMA</sub>	VAM-T	<i>T</i>	<i>P</i>
VMA (km.h <sup>-1</sup> )	19,1 ± 0,9*	17,9 ± 0,9	-7,04	< 0,001
FCmax (bpm)	193 ± 4*	191 ± 2	3,66	0,002
LA (mmol.L <sup>-1</sup> )	11,4 ± 0,4*	11,0 ± 0,5	2,53	0,039

\*: Différence significative entre VAM-T et 150/50<sub>VMA</sub> ( $p < 0,05$ ). *t* : t de student. *p* : Valeur de P.

Concernant les résultats de la FCmax, il y avait une différence significative entre les deux tests (tableau 19). Néanmoins, ces données étaient significativement corrélées ( $r = 0,63$ ,  $p = 0,007$ ). Les valeurs de LA enregistrées pendant le 150/50<sub>VMA</sub> sont plus élevées que celles obtenues pendant T-VAM avec un faible coefficient de corrélation ( $r = 0,22$ ,  $p = 0,368$ ).

Enfin, les valeurs de VMA obtenues lors du premier 150/50<sub>VMA</sub> et le second (test-retest) n'étaient pas significativement différentes ( $19,1 \pm 0,9$  vs  $19,4 \pm 1,6$  km.h<sup>-1</sup>). De plus, le coefficient de corrélation, le coefficient de variation et le coefficient de corrélation intraclasse étaient de 0,94, 6,8 et 0,93, respectivement.



**Figure 22 :** (A) Relation entre  $VMA_{VAM-T}$  et  $VMA_{150/50}$ . (B) Concordance entre  $VMA_{VAM-T}$  et  $VMA_{150/50}$ : graphique de Bland-Altman

### 3.4. Discussion

L'objectif principal de cette étude était de comparer la VMA obtenue lors d'un nouveau test intermittent de terrain ( $150/50_{VMA}$ ) avec celle du VAM-T, et de vérifier si les réponses physiologiques dérivées des deux tests pouvaient être utilisées de manière interchangeable. De plus, la fiabilité test-retest du  $150/50_{VMA}$  a également été étudiée. La présente étude indique que la VMA moyenne mesurée à la fin du VAM-T est significativement différente à celle obtenue à la fin du  $150/50_{VMA}$ , et les réponses physiologiques maximales ( $FC_{max}$  et  $La$ ) dérivées des deux tests ne sont pas interchangeables. Néanmoins, le  $150/50_{VMA}$  était reproductible.

Les paramètres (VMA,  $FC_{max}$  et  $La$ ) obtenus à la fin du VAM-T et  $150/50_{VMA}$  étaient significativement différents. Il y avait une différence de  $1,2 \text{ km.h}^{-1}$  en moyenne concernant la VMA, soit une différence de 7 %. Cependant, la VMA moyenne obtenue au cours des deux tests était significativement corrélée ( $r = 0,71$ ,  $p < 0,05$ ). Cette différence pourrait être liée à des différences dans le protocole des deux tests (déroulement de l'épreuve). En effet, Billat et al. (2001) ont confirmé que la diversité des méthodes de calcul de la VMA peut conduire à des estimations de vitesses différentes. Les résultats actuels peuvent être comparés à d'autres études antérieures comparant des tests de terrain intermittents et continus (Aziz et al., 2005; Benhammou et al., 2020; Dupont et al., 2010). En effet, Schnitzler et al. (2010) ont montré que la VMA moyenne obtenue ( $15,8 \text{ km.h}^{-1}$ ) à partir d'un test de terrain continu (UM-TT) est différente de la vitesse atteinte ( $13,2 \text{ km.h}^{-1}$ ) à la fin d'un test de terrain intermittent (3'30''), avec une corrélation élevée ( $r = 0,76$ ). Los Arcos et al. (2019) ont quant à eux trouvé des valeurs différentes de VMA en comparant l'UM-TT ( $16,7 \text{ km.h}^{-1}$ ) à un protocole intermittent sur tapis roulant ( $15,9 \text{ km.h}^{-1}$ ), avec une bonne corrélation ( $r = 0,67$ ). Bien que les VMAs



soient significativement différentes, les corrélations significatives comme celles obtenues dans d'autres études (Schnitzler et al., 2010 ; Los Arcos et al., 2019) semblent suggérer la validité convergente du 150/50<sub>VMA</sub>.

Les FC<sub>max</sub> étaient différentes entre VAM-T et 150/50<sub>VMA</sub> (tableau 19), mais le port d'un cardio-fréquence-mètre lors des deux tests permet d'obtenir une FC<sub>max</sub> proche du maximum théorique ( $FC_{max} = 220 - \text{âge}$ ) (Nes et al., 2013) pour tous les sujets. Nos résultats contrastent avec ceux rapportés par Dupont et al. (2010) qui ont trouvé des valeurs similaires en comparant l'UM-TT ( $192,3 \pm 8,0$  bpm) et YO-YO intermittent test ( $191,4 \pm 7,8$  bpm).

La lactatémie est l'un des paramètres biologiques les plus fréquemment utilisés en biologie du sport (Petibois et al., 2001). Une différence significative a été notée entre les deux tests pour LA. Les résultats montrent que le 150/50<sub>VMA</sub> provoque une plus grande accumulation de lactate ( $+ 0,4$  mmol.L<sup>-1</sup> en moyenne) par rapport au VAM-T. Ces valeurs confirment la contribution majeure du métabolisme anaérobie lors du 150/50<sub>VMA</sub> (avec une vitesse plus élevée lors des dernières étapes par rapport au VAM-T). Ces résultats sont en accord avec des études antérieures démontrant une participation anaérobie importante lors d'un exercice intermittent (Buchheit et al., 2009).

Le 150/50<sub>VMA</sub> assure un haut niveau de fiabilité dans tous les paramètres étudiés. Le CV et l'ICC se situaient dans les plages acceptables décrites par Hopkins et al. (2009). Par conséquent, le 150/50<sub>VMA</sub> doit être considéré comme un test reproductible.

### 3.5. Conclusion

Sur la base des résultats obtenus, le 150/50<sub>VMA</sub> est hautement reproductible mais il surestime la VMA, la FC<sub>max</sub> et LA. Ces indices physiologiques dérivés du 150/50<sub>VMA</sub> et du VAM-T ne peuvent être interchangeables lors de la conception des programmes d'entraînement. Des études futures devraient être menées pour examiner la validité du 150/50<sub>VMA</sub>.

Cette étude a montré d'une part que les deux types de tests (continu vs intermittent) donnent des mesures de VMA différentes, et d'autre part la FC<sub>max</sub> et LA sont également différentes. De ce fait, nous sommes obligés d'utiliser un autre protocole (augmentation de la distance parcourue et diminution du temps de récupération) afin d'atteindre les objectifs que nous avons fixés en termes de validité. Ceci représente le but de l'étude 3.

.....

## 4. ETUDE 3

### **Le 180/20 intermittent athletic test: un nouveau test intermittent sur piste pour évaluer la vitesse maximale aérobie chez les athlètes de demi-fond**

### **The 180/20 intermittent athletic test: A new intermittent track test to assess the maximal aerobic speed in middle-distance runners**

Article accepté par la revue «Revista Andaluza de Medicina del Deporte» (Août 2021)

#### **4.1. Objectif**

Les buts de la présente étude étaient a) : de développer un nouveau test spécifique pour les coureurs de demi-fond intitulé 180/20 intermittent athletic test (180/20<sub>IAT</sub>) et de comparer la VMA, FC<sub>max</sub> et L<sub>Amax</sub> obtenues lors d'un 180/20<sub>IAT</sub> avec celles d'un test de référence (VAM-T), et b) d'évaluer la reproductibilité du 180/20<sub>IAT</sub>.

#### **4.2. Matériels et méthodes**

##### *4.2.1. Sujets*

Dix-neuf coureurs de demi-fond masculins bien entraînés (5 fois/semaine) ont participé à l'étude. L'âge, la taille, le poids et l'indice de masse corporelle (IMC) étaient respectivement de  $21,3 \pm 2,2$  ans,  $1,75 \pm 0,04$  m,  $68,8 \pm 3,8$  kg et  $22,3 \pm 0,9$  kg.m<sup>2</sup>. Tous s'entraînent régulièrement au sein de deux clubs (ATHLETIC CLUB 27 et AFFAK Mostaganem). Tous les sujets ont été informés des procédures de la recherche et ont donné leur consentement écrit.

##### *4.2.2. Procédure*

Tous les sujets ont été évalués à trois reprises sur une piste de course de 400 m séparées de 72 heures (ordre randomisé). Ils ont effectué le VAM-T afin de déterminer leur VMA, qui a servi de référence (VMA<sub>VAM-T</sub>). Ils ont ensuite effectué le 180/20<sub>IAT</sub>, puis un second 180/20<sub>IAT</sub> pour évaluer sa reproductibilité. Les tests ont été réalisés à la même heure de la journée et dans des conditions expérimentales similaires (18-20 ° C, vitesse du vent sur piste 1,3-1,5 m.s<sup>-1</sup> mesurée par une station météo: PCE-AM81, PCE Instruments®, Strasbourg, France). La fréquence cardiaque a été surveillée au moyen d'un cardio-fréquencemètre (Polar S610i, Polar Electro Oy, Kempele, Finlande). Trois minutes après chaque test, des échantillons de sang du

bout des doigts ont été prélevés afin de mesurer le lactate sanguin (LT-1710, Lactate Pro, Arkray® Kyoto, Japan).

#### 4.2.3. *Test 180/20<sub>IAT</sub>*

Le 180/20<sub>IAT</sub> est un test de course sur piste adapté aux exigences de l'entraînement en demi-fond, en tenant compte de la spécificité intermittente requise dans cette discipline (Vuorimaa et al., 2008). Il se déroule sur une piste d'athlétisme de 400 m ( $180/20 = 200 \times 2 = 400\text{m}$ ), sans changement de direction et qui peut être utilisé comme une séance d'entraînement. Ce test est constitué de temps d'effort sur une distance de 180 m entrecoupés de périodes de récupération courtes sur une distance de 20 m (180/20). La vitesse de course est réglée au moyen d'une bande sonore conçu spécifiquement pour le test. Cette dernière émet des « bips » à intervalles réguliers. A chaque bip, le sportif doit se trouver au niveau d'un des plots placés sur la piste tous les 20 mètres (figure 23). Le premier palier démarre sur un rythme de 8 km.h<sup>-1</sup>, et la vitesse augmente de 0,5 km.h<sup>-1</sup> toutes les 200m ce qui correspond au franchissement réussi d'un palier. Le sportif s'arrêtera (ou sera arrêté par les évaluateurs), dès qu'il aura un retard de plus de 3 m sur 2 plots consécutifs. La VMA correspond à la vitesse atteinte au dernier palier entièrement complété (tableau 20), elle est nommée: VMA<sub>180/20<sub>IAT</sub></sub>.



**Figure 23** : L'organisation matérielle du 180/20<sub>IAT</sub>

**Tableau 20** : Tableau de correspondance du 180/20<sub>IAT</sub>

P	VMA km.h <sup>-1</sup>	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1	0.12	0.14	0.16	0.18	R	D
01	8	00:9,0	00:18,0	00:27,0	00:36,0	00:45,0	01:12,0	00:54,0	01:03,0	01:21,0	20	180
02	8.5	00:8,4	00:16,9	00:25,4	00:33,8	00:42,3	1:07,7	00:50,8	00:59,2	01:16,0	20	360
03	9	00:8,0	00:16,0	00:24,0	00:32,0	00:40,0	01:04,0	00:48,0	00:56,0	01:12,0	20	540
04	9.5	00:7,5	00:15,4	00:22,7	00:30,3	00:37,8	01:00,6	00:45,4	00:53,0	01:08,0	20	720
05	10	00:7,2	00:14,4	00:21,6	00:28,8	00:36,0	00:57,6	00:43,2	00:50,4	01:04,0	20	900
06	10.5	00:6,8	00:13,7	00:20,5	00:27,4	00:34,2	00:54,8	00:41,1	00:48,0	01:01,0	20	1080
07	11	00:6,5	00:13,0	00:19,6	00:26,1	00:32,7	00:52,3	00:39,2	00:45,8	00:58,9	20	1260
08	11.5	00:6,2	00:12,5	00:18,7	00:25,0	00:31,3	00:50,0	00:37,5	00:43,8	00:56,3	20	1440
09	12	00:6,0	00:12,0	00:18,0	00:24,0	00:30,0	00:48,0	00:36,0	00:42,0	00:54,0	20	1620
10	12.5	00:5,7	00:11,5	00:17,2	00:23,0	00:28,8	00:46,0	00:34,5	00:40,3	00:51,8	20	1800
11	13	00:5,5	00:11,0	00:16,6	00:22,1	00:27,6	00:44,3	00:33,2	00:38,7	00:49,8	20	1980
12	13.5	00:5,3	00:10,6	00:16,0	00:21,3	00:26,6	00:42,6	00:32,0	00:37,3	00:48,0	20	2160
13	14	00:5,1	00:10,2	00:15,4	00:20,5	00:25,7	00:41,1	00:30,8	00:36,0	00:46,2	20	2340
14	14.5	00:4,9	00:09,9	00:10,2	00:19,8	00:24,2	00:39,7	00:29,7	00:34,7	00:44,6	20	2520
15	15	00:4,8	00:09,6	00:14,4	00:19,2	00:24,0	00:38,4	00:28,8	00:33,6	00:43,2	20	2700
16	15.5	00:4,6	00:09,2	00:13,9	00:18,5	00:23,2	00:37,1	00:27,8	00:32,5	00:41,8	20	2880
17	16	00:4,5	00:09,0	00:13,5	00:18,0	00:22,5	00:36,0	00:27,0	00:31,5	00:40,5	20	3060
18	16.5	00:4,3	00:08,7	00:13,0	00:17,4	00:21,8	00:34,9	00:26,1	00:30,5	00:39,2	20	3240
19	17	00:4,2	00:08,4	00:12,7	00:16,9	00:21,1	00:33,8	00:25,4	00:29,6	00:38,1	20	3420
20	17.5	00:4,1	00:08,2	00:12,3	00:16,4	00:20,5	00:32,9	00:24,6	00:28,8	00:37,0	20	3600
21	18	00:4,0	00:08,0	00:12,0	00:16,0	00:20,0	00:32,0	00:24,0	00:28,0	00:36,0	20	3780
22	18.5	00:3,8	00:07,7	00:11,6	00:15,5	00:19,4	00:31,1	00:23,3	00:27,2	00:35,0	20	3960
23	19	00:3,7	00:07,5	00:11,3	00:15,1	00:18,9	00:30,3	00:22,7	00:26,5	00:34,1	20	4140
24	19.5	00:3,6	00:07,3	00:11,0	00:14,7	00:18,4	00:29,5	00:22,1	00:25,8	00:33,2	20	4320
25	20	00:3,6	00:07,2	00:10,8	00:14,4	00:18,0	00:28,8	00:21,6	00:25,2	00:32,4	20	4500
26	20.5	00:3,5	00:07,0	00:10,5	00:14,0	00:17,5	00:28,0	00:21,0	00:24,5	00:31,6	20	4680
27	21	00:3,4	00:06,8	00:10,2	00:13,7	00:17,1	00:27,4	00:20,5	00:24,0	00:30,8	20	4860
28	21.5	00:3,3	00:06,6	00:10,0	00:13,3	00:16,7	00:26,7	00:20,0	00:23,4	00:30,1	20	5040
29	22	00:3,2	00:06,5	00:09,8	00:13,0	00:16,3	00:26,1	00:19,6	00:22,9	00:29,4	20	5220
30	22.5	00:3,2	00:06,4	00:09,6	00:12,8	00:16,0	00:25,6	00:19,2	00:22,4	00:28,8	20	5400
31	23	00:3,1	00:06,2	00:09,3	00:12,5	00:15,6	00:25,0	00:18,7	00:21,9	00:28,1	20	5580
32	23.5	00:3,0	00:06,1	00:09,1	00:12,2	00:15,3	00:24,5	00:18,3	00:21,4	00:27,5	20	5760
33	24	00:3,0	00:06,0	00:09,0	00:12,0	00:15,0	00:24,0	00:18,0	00:21,0	00:27,0	20	5940
34	24.5	00:2,9	00:05,8	00:08,8	00:11,7	00:14,6	00:23,5	00:17,6	00:20,5	00:26,4	20	6120
35	25	00:2,8	00:05,7	00:08,6	00:11,5	00:14,4	00:23,0	00:17,2	00:20,1	00:25,9	20	6300

Note : P : palier. R : récupération (m). D : distance parcourue (m)

#### 4.2.4. Le test de VAMEVAL

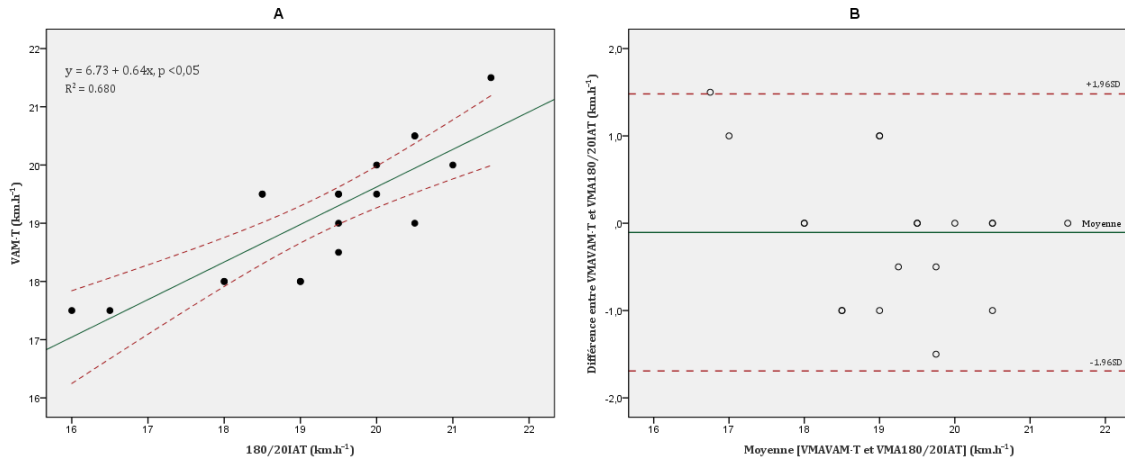
Les détails du test de VAMEVAL ont été décrits dans la première partie (chapitre III, section 3.2.2.6.).

#### 4.2.5. Analyse statistique

Les résultats sont exprimés en moyenne  $\pm$  écart type. La comparaison entre les valeurs des deux tests a été faite avec un test-*t* de Student pour des échantillons appariés (après vérification de la normalité des données au moyen d'un test Shapiro–Wilk). Des coefficients de corrélation de Pearson (*r*) ont été calculés entre les paramètres étudiés. Pour tester la fidélité, la VMA entre le premier et le second 180/20<sub>IAT</sub> a été comparée à partir du test-*t* de Student pour un échantillon apparié. La fidélité a également été examinée par le coefficient de variation, le coefficient de corrélation intraclasse et le graphique de Bland et Altman. Le seuil de significativité retenu était de  $p < 0,05$ . Le logiciel statistique utilisé était SPSS version 23 (Inc., IBM, Chicago, USA).

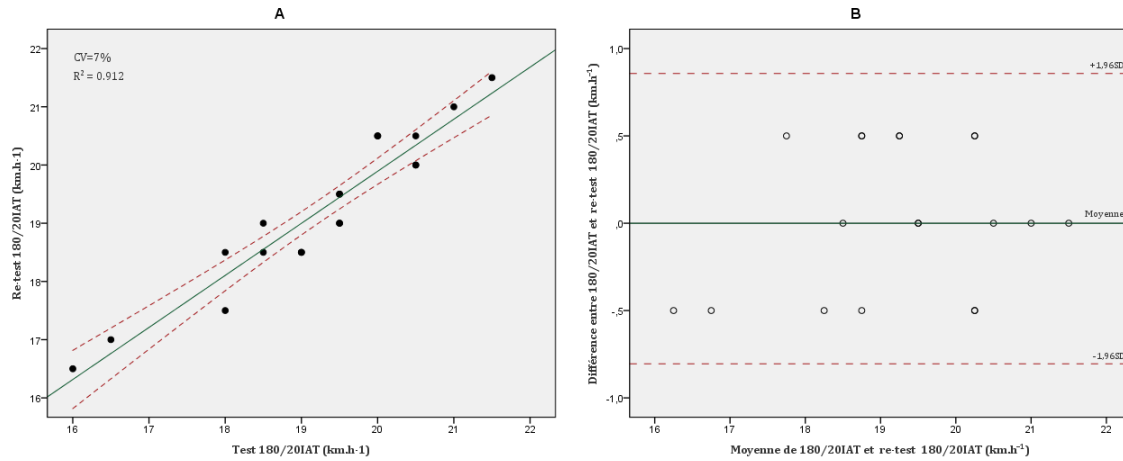
### 4.3. Résultats

Aucune différence significative n'a été trouvée entre  $VMA_{VAM-T}$  ( $19,1 \pm 1,1 \text{ km.h}^{-1}$ ) et  $VMA_{180/20IAT}$  ( $19,2 \pm 1,4 \text{ km.h}^{-1}$ ;  $p = 0,57$ ). De plus, aucune différence significative n'a été notée pour la FC ( $191 \pm 2$  vs  $191 \pm 3 \text{ bpm}$ ;  $p = 0,42$ ) et La ( $11,3 \pm 0,6$  vs  $11,5 \pm 0,7 \text{ mmol.L}^{-1}$ ;  $p = 0,08$ ) entre le VAM-T et le 180/20<sub>IAT</sub>. La VMA ( $r = 0,82$ ,  $p < 0,01$ ), la FC ( $r = 0,50$ ,  $p = 0,02$ ) et La ( $r = 0,72$ ,  $p < 0,01$ ,) entre les deux tests étaient significativement corrélées. La figure 24A montre la régression linéaire entre  $VMA_{VAM-T}$  et  $VMA_{180/20IAT}$ , tandis que la figure 24B représente les limites d'agrément de Bland-Altman pour la VMA obtenue au cours des deux tests. Biais systématiques ( $-0,10 \text{ km.h}^{-1}$ ) et les limites d'agrément ( $-1,69$ - $1,48 \text{ km.h}^{-1}$ ) sont faibles.



**Figure 24 :** (A) Relation entre  $VMA_{VAM-T}$  et  $VMA_{180/20IAT}$ . (B) Concordance entre  $VMA_{VAM-T}$  et  $VMA_{180/20IAT}$ : graphique de Bland-Altman

Aucune différence n'a été observée entre la VMA obtenue dans le premier et le second 180/20<sub>IAT</sub> ( $19,2 \pm 1,4$  vs  $19,2 \pm 1,3$  km.h<sup>-1</sup>,  $p = 0,79$ ), avec  $r = 0,95$  ( $p < 0,01$ ), CV = 7,0% et ICC = 0,95 (IC 95%: 0,88-0,98). De plus, aucune différence significative n'a été observée lors de la répétition des deux 180/20<sub>IAT</sub> en ce qui concerne la FC ( $191 \pm 3$  vs  $191 \pm 2$  bpm,  $p = 0,62$ ). Ces valeurs étaient significativement corrélées avec  $r = 0,69$  ( $p < 0,01$ ), CV = 1,4% et ICC = 0,68 (IC 95%: 0,34-0,86). Aucune différence significative n'a été trouvée entre test et re-test pour La ( $11,5 \pm 0,7$  vs  $11,4 \pm 0,6$  mmol.L<sup>-1</sup>,  $p = 0,32$ ). Une corrélation significative a également été notée pour ces valeurs avec  $r = 0,86$  ( $p < 0,01$ ), CV = 5,9% et ICC = 0,86 (IC 95%: 0,68-0,94). La figure 25A représente une régression linéaire pour  $VMA_{180/20IAT}$  entre le test et re-test, tandis que la figure 25B rapporte les limites d'agrément de Bland-Altman. Une concordance significative a été trouvée entre le test et retest avec biais de 0,02 km.h<sup>-1</sup> (-0,80-0,85 km.h<sup>-1</sup>).



**Figure 25 :** (A) Relation entre test et re-test pour le 180/20<sub>IAT</sub>. (B) Reproductibilité (test et re-test) du 180/20<sub>IAT</sub> : graphique de Bland-Altman

#### 4.4. Discussion

La principale conclusion de la présente étude est que la VMA atteinte lors du 180/20<sub>IAT</sub> ( $VMA_{180/20IAT}$ ) est significativement corrélée à la VMA mesurée lors de test référence ( $VMA_{VAM-T}$ ), et les variables maximales dérivées des deux tests ne sont pas significativement différentes.

Les vitesses (VMA) obtenues lors des deux tests étaient significativement corrélées ( $r = 0,82$ ,  $p < 0,05$ ), avec un grand coefficient de corrélation. Ces résultats apparaissent conformes aux travaux de Dupont et al. (2010) qui ont noté une corrélation élevée ( $r = 0,79$ ) en comparant le VMA-T avec Yo-Yo intermittent test, ou encore récemment avec un protocole intermittent sur tapis roulant (Los Arcos et al., 2019). Selon les résultats obtenus, le 180/20<sub>IAT</sub> était corrélé avec les autres indicateurs de la capacité aérobie. Les résultats ont montré que 180/20<sub>IAT</sub> produisait des valeurs de FCmax et LA comparables à celles de VAM-T. Ces résultats apparaissent également en accord avec d'autres études comparant des protocoles intermittents à d'autres tests classiques de terrain (Carminatti et al., 2013; Dupont et al., 2010). Les valeurs identiques obtenues (FCmax et LA) à l'issue des deux tests permettent de confirmer que l'effort réalisé à la fin des deux tests était maximal, ainsi la contribution majeur du métabolisme anaérobie. Bien que le  $VO_2max$  est considéré comme le meilleur indicateur de la capacité aérobie, les études futures pourront comparer le  $VO_2max$  entre un test continu et le 180/20<sub>IAT</sub>, et fournir de meilleurs orientations aux entraîneurs.

Les résultats ont montré que le  $180/20_{IAT}$  est hautement reproductible pour être recommandé aux entraîneurs et aux athlètes ( $r = 0.95$  ;  $CV = 7,0\%$  ;  $ICC = 0,95$ ). Ces valeurs sont en accord avec celles décrites par Hopkins et al. (2009).

#### **4.5. Conclusion**

En conclusion, le test que nous proposons permet d'obtenir une VMA reproductible et comparable à un test classique tel que le VAM-T. Les variables maximales (FCmax et LA) dérivées du  $180/20_{IAT}$  et du VAM-T sont elles aussi interchangeables. Ces trois grandeurs peuvent donc être utilisées dans la conception des programmes d'entraînement. Bien que cette étude souligne l'intérêt du  $180/20_{VMA}$  chez les athlètes de demi-fond, elle doit être considérée comme préliminaire et le chapitre II a pour but de compléter la validation de ce test.



## CHAPITRE II

### VALIDITE, REPRODUCTIBILITE ET SENSIBILITE DU 180/20<sub>IAT</sub>

#### Présentation du chapitre II

---

#### **1. Introduction**

#### **2. Matériels et méthodes**

##### *2.1. Sujets*

##### *2.2. Procédure*

##### *2.3. Protocole de test 180/20<sub>IAT</sub>*

##### *2.4. Le test de VAMEVAL*

##### *2.5. Analyse statistique*

#### **3. Résultats**

#### **4. Discussion**

#### **5. Conclusion**

## 1. Introduction

Depuis environ un demi-siècle, la VMA est devenue une mesure pertinente pour évaluer le niveau d'endurance des coureurs de demi-fond (Lacour et Candau, 1990) et de fond (Morgan et al., 1989). Elle est aussi utilisée comme une vitesse de référence pour fixer les objectifs à respecter lors des séances d'entraînements. Des tests intermittents ont vu le jour pour déterminer la VMA, mais principalement dans les sports d'équipe. Ces tests sont souvent composés de courses de navettes, avec des changements de direction. Cependant, ce type de test semble quelque peu inapproprié pour les athlètes de demi-fond qui courent en ligne droite pendant les compétitions (c'est-à-dire sans changement de direction) et pratique la course intermittente dans leurs séances d'entraînement. A notre connaissance, aucune étude n'a proposé un test intermittent pour évaluer les performances d'endurance des athlètes de demi-fond.

Il est bien reconnu que l'entraînement des coureurs de demi-fond est basé sur des exercices intermittents. Dans ce contexte, il serait utile d'utiliser une vitesse adaptée aux exercices intermittents lors de l'élaboration des séances d'entraînement. De ce constat, l'objectif principal de cette étude est de vérifier la validité (par rapport à un test de référence déjà validé et le plus fréquemment utilisé : VAM-T), la reproductibilité et la sensibilité d'un test intermittent de course sur piste déjà présenté dans le chapitre I (180/20<sub>IAT</sub>).

## 2. Matériels et méthodes

### 2.1. *Sujets*

Un totale de 73 athlètes de sexe masculin pratiquant l'athlétisme ont participé volontairement à cette étude (affiliés à la ligue d'athlétisme de Mostaganem au sein de trois clubs : Athletic club 27, AFFAK Mostaganem et IRCM). 47 coureurs entraînés spécialistes de demi-fond de niveau régional et national ont participé à la première phase de l'étude (tableau 21). Cette phase consiste à étudier la validité et la reproductibilité du 180/20<sub>IAT</sub>. Les sujets s'entraînaient régulièrement depuis plus de 4 ans (4 à 5 fois/semaine) et tous étaient habitués aux exercices intermittents à l'entraînement.

Pour examiner la sensibilité du 180/20<sub>IAT</sub>, nous avons testé, en plus, 26 sujets débutants (tableau 21) pratiquent l'athlétisme depuis moins d'un an sur une base de trois séances par semaine.

**Tableau 21** : Caractéristiques biométriques des sujets

	<b>Phase 1 : Entraînés (n=47)</b> Validité et reproductibilité				<b>Phase 2 : Débutants (n=26)</b> Sensibilité			
	Age (années)	Masse corporelle (kg)	Taille (cm)	IMC (kg/m <sup>2</sup> )	Age (années)	Masse corporelle (kg)	Taille (cm)	IMC (kg/m <sup>2</sup> )
<b>Moyenne</b>	21,4	76,6	175,4	22,24	17,5	65,3	171,9	22,35
<b>Ecart-type</b>	2,9	4,9	4,3	1,91	1,0	5,2	3,8	2,10
<b>Minimum</b>	17	58	164	18,93	16	55	163	19,37
<b>Maximum</b>	28	79	184	29,56	19	78	181	28,26

## 2.2. *Procédure*

Le protocole expérimental de cette étude a été scindé en deux parties. La première avait pour objectif d'évaluer la validité et la reproductibilité du  $180/20_{IAT}$  dans un groupe de 47 athlètes de demi-fond entraînés. Les sujets ont effectué trois épreuves sur une piste de course de 400 m séparées de 72 heures d'intervalle (ordre randomisé): un VAM-T (pour déterminer une VMA de référence), deux  $180/20_{IAT}$  (pour comparer avec le VAM-T et tester la reproductibilité). Une période d'échauffement a précédé tous les tests (10 min de course suivie de 5 min d'étirement libre). Tous les coureurs étaient en bonne santé (aucune maladie susceptible de modifier la performance en course à pied et la réponse physiologique à l'exercice), ont reçu pour instruction d'éviter la caféine et les exercices de haute intensité au cours des 48 heures précédant chaque test pour assurer une récupération complète. L'étude est conforme avec les recommandations de la déclaration d'Helsinki et les sujets ont donné leur consentement écrit pour participer. Les tests ont été réalisés au même moment de la journée 3h après avoir mangé, et dans les mêmes conditions expérimentales (température entre 17 °C et 23 °C et vitesse du vent sur piste entre 1,2 m/s et 1,6 m/s mesuré par une station météo : PCE-AM81, PCE Instruments ®, Strasbourg, France). La fréquence cardiaque a été mesurée en continu durant les tests (Polar S610i, Polar Electro Oy, Kempele, Finlande) afin de déterminer la fréquence cardiaque maximale. La concentration du lactate sanguin du bout des doigts (LT-1710, Lactate Pro, Kyoto, Japan) a été mesurée 3 minutes après la fin du chaque test.

La deuxième partie avait pour objectif de vérifier la sensibilité du  $180/20_{IAT}$  sur un échantillon de 73 athlètes d'athlétisme de niveaux de pratique sportive différents.

### 2.3. Test 180/20<sub>IAT</sub>

Les détails du test de VAMEVAL ont été décrits dans la première partie (chapitre III, section 3.2.2.6.). La VMA correspond à la vitesse atteinte au dernier palier entièrement complété, elle est nommée:  $VMA_{VAM-T}$ .

### 2.4. Le test de VAMEVAL

Les détails du test 180/20<sub>IAT</sub> ont été décrits dans la deuxième partie (chapitre I, section 4.2.3.).

### 2.5. Analyse statistique

Les résultats sont exprimés en moyenne  $\pm$  écart type. L'hypothèse de normalité a été vérifiée avec le test de Shapiro–Wilk, et des tests paramétriques ont été utilisés.

Des coefficients de corrélation ont été calculés entre les deux tests en utilisant un test de Pearson ( $r$ ) pour vérifier la relation entre les variables. Les coefficients de corrélation ont été interprétés conformément aux seuils proposés par Hopkins (Hopkins et al., 2009):  $r < 0,1$ , très faible;  $0,1 \leq r < 0,3$ , faible;  $0,3 \leq r < 0,5$ , modéré;  $0,5 \leq r < 0,7$ , grand;  $0,7 \leq r < 0,9$ , très grand; et  $0,9 \leq r < 1$ , presque parfait. De plus, l'analyse de Bland-Altman a également été utilisée afin d'estimer la concordance et les limites d'agrément entre  $VMA_{VAM-T}$  et  $VMA_{180/20IAT}$ .

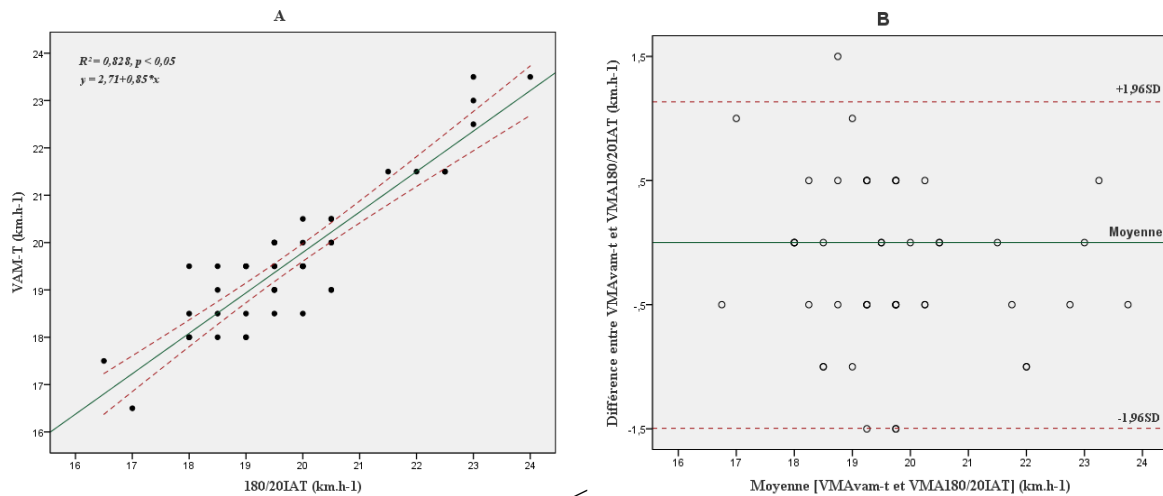
Un test- $t$  de Student pour des échantillons appariés a été utilisé, cet outil statistique a pour but de définir des différences significatives entre les deux tests comparés ( $VAM-T$  et  $180/20_{IAT}$ ). Pour tester la reproductibilité, la VMA calculée entre le 1<sup>er</sup> et le second  $180/20_{IAT}$  a été comparée en utilisant un test- $t$  de Student pour des échantillons appariés. La reproductibilité a également été évaluée par le coefficient de corrélation intra-classe ICC (95 % IC), coefficient de variation (CV) et l'analyse de Bland-Altman.

Afin de vérifier la sensibilité du  $180/20_{IAT}$  à discriminer entre des coureurs de niveaux de pratique et de compétition différents, nous avons utilisé le graphique du ROC (receiver operating characteristic). La valeur de l'aire sous la courbe (ASC) permet de mesurer la qualité discriminatif du test (Barreca et al., 2005; Dardouri et al., 2014; Menaspà et al., 2010). les seuils de classification ont été interprétés en utilisant les seuils décrites par Hosmer et al. (2013): 50-60, échouer ; 60-70, faible ; 70-80, acceptable ; 80-90, très bon ; 90-1, excellent. Le niveau de signification a été établi à  $p < 0,05$ . Toutes les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide de SPSS version 23 (Inc., IBM, Chicago, USA).

### 3. Résultats

La distance parcourue (en moyenne) durant le 180/20<sub>IAT</sub> et VAM-T était de  $4434 \pm 581$  (plage: 3240–5940) m et  $5620 \pm 1036$  (plage: 3669–8389) m, respectivement, ce qui correspond à une durée du test de  $25,7 \pm 1,4$  min pour le 180/20<sub>IAT</sub> et  $24,1 \text{ min} \pm 0,7$  pour VAM-T. Une corrélation significative a été observée entre la distance parcourue lors des deux tests ( $r = 0,91$   $p < 0,01$ , excellent).

La VMA, la fréquence cardiaque maximale et les concentrations de lactate sanguin enregistrées lors des deux tests sont présentées dans le tableau 22. La figure 26A montre la régression linéaire entre les valeurs de VMA obtenues lors des deux tests (VMA<sub>VAM-T</sub> et VMA<sub>180/20IAT</sub>), tandis que la figure 26B présente les limites d'accord de Bland et Altman entre les valeurs de VMA obtenues au cours des deux tests. Aucune différence significative de VMA entre les deux tests n'a été observée ( $p < 0,05$ ). La valeur élevée du coefficient de corrélation entre VMA<sub>VAM-T</sub> et VMA<sub>180/20IAT</sub> ( $r = 0,91$  ;  $p < 0,01$ , excellent) montre que ces deux VMA sont très fortement reliées entre elles. De même, Le biais systématique ( $-0,1 \pm 0,6$  km.h<sup>-1</sup>) et les limites d'accord ( $-1,4$  à  $1,1$  km.h<sup>-1</sup>) sont faibles comme l'illustre la figure 26B.



**Figure 26 :** (A) Relation entre VMA<sub>VAM-T</sub> et VMA<sub>180/20IAT</sub>. (B) Limites de concordance entre VMA<sub>VAM-T</sub> et VMA<sub>180/20IAT</sub>: graphique de Bland-Altman

Aucune différence significative de FCmax n'a été observée entre VAM-T et 180/20<sub>IAT</sub>. Les valeurs étaient significativement corrélées ( $r = 0,74$  ;  $p < 0,01$ , très grand). En revanche, la concentration en lactates sanguins était significativement supérieure dans 180/20<sub>IAT</sub> que

durant VAM-T (tableau 22) malgré un fort coefficient de corrélation constaté ( $r = 0,79$  ;  $p < 0,01$ , très grand).

**Tableau 22** : Caractéristique physiologiques et performances réalisées lors des deux tests

Variables	VAM-T	180/20 <sub>IAT</sub>	Intervalle	P
VMA (km.h <sup>-1</sup> )	19,6 ± 1,5	19,8 ± 1,6	0,2	0,071
FCmax (bpm)	191,1 ± 5,0	192,0 ± 4,3	0,9	0,083
LA (mmol.L <sup>-1</sup> )	11,7 ± 1,0	12,2 <sup>a</sup> ± 0,9	0,5	$p < 0,01$
Distance parcourue (m)	5620 <sup>a</sup> ± 1036	4434 ± 581	1186	$p < 0,01$

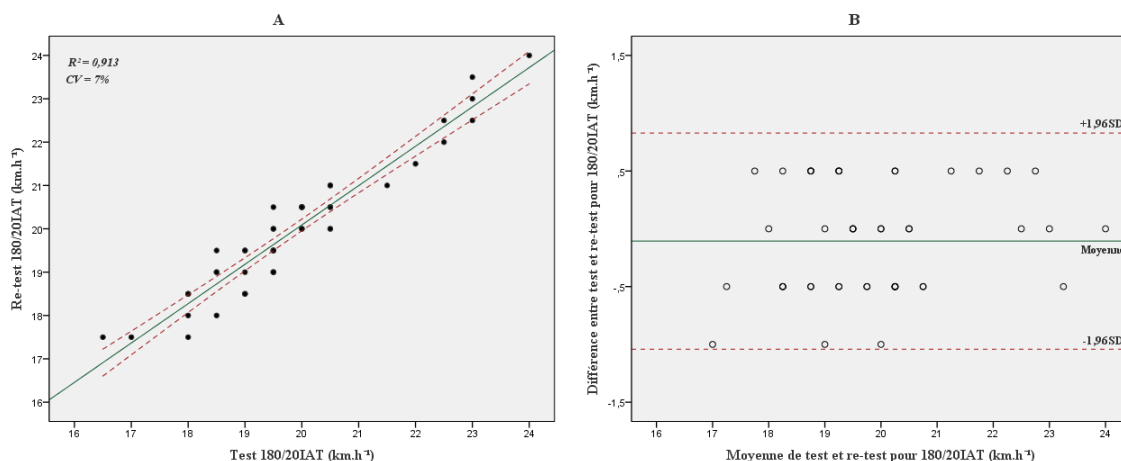
P: valeur de P ; <sup>a</sup> Différence significative ( $p < 0,05$ ).

Aucune différence significative n'a été constatée entre la VMA et la FCmax obtenues dans le premier et le second 180/20<sub>IAT</sub> (19,8 ± 1,6 vs 19,9 ± 1,5 km.h<sup>-1</sup>;  $p = 0,13$  pour la VMA ; 192,0 ± 4,3 vs 191,6 ± 3,7 bpm,  $p = 0,09$  pour la FCmax). Le coefficient de corrélation, le coefficient de variation, le coefficient de corrélation intra-classe ICC (95 % IC) ainsi que les limites de concordance pour la VMA et la FCmax du 180/20<sub>IAT</sub> sont présentés dans le tableau 23. La figure 27A et 27B illustre par ailleurs la régression linéaire et les limites de concordance entre la VMA obtenue dans le premier et le second 180/20<sub>IAT</sub>. Les biais systématiques étaient faibles pour les valeurs de VMA (-0,10 ± 0,4 km.h<sup>-1</sup>).

**Tableau 23** : Reproductibilité des indices physiologiques de l'épreuve 180/20<sub>IAT</sub>

Variables	CC	CV (%)	ICC (95 % IC)	95 % limite de Concordance
VMA (km.h <sup>-1</sup> )	0,95	7,7	0,95 (0,91—0,97)	-1,04—0,82
FCmax (bpm)	0,93	1,9	0,92 (0,86—0,95)	-2,75—3,56

CC : coefficient de corrélation ; CV : coefficient de variation ; ICC : le coefficient de corrélation intra-classe.



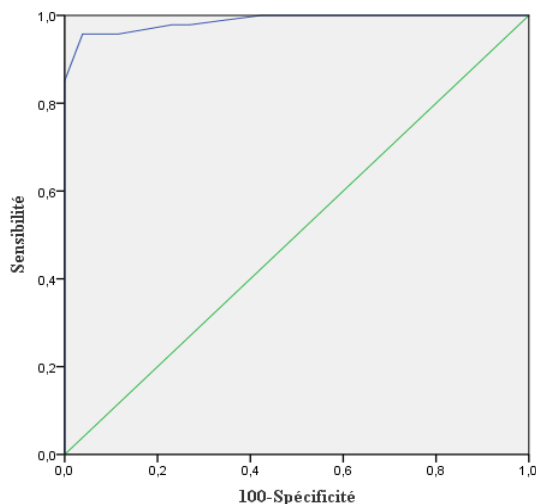
**Figure 27** : (A) Relation entre test et re-test pour 180/20<sub>IAT</sub> (B) Limites de concordance entre test et re-test pour 180/20<sub>IAT</sub>: graphique de Bland-Altman

La VMA et la distance parcourue du test 180/20<sub>IAT</sub> des deux groupes d'athlètes ayant des niveaux de pratique différents sont représentés dans le tableau 24. Une différence significative a été enregistrée entre les deux groupes.

**Tableau 24** : Les aires sous la courbe ROC pour la VMA et comparaison des paramètres de performance au test 180/20<sub>IAT</sub> entre les deux groupes

Variables	Niveau de pratique		P	Roc	
	Entraînés (n=47)	Débutants (n=26)		ASC	IC 95%
VMA (km.h <sup>-1</sup> )	19,8 ± 1,6	16,0 ± 0,9	$p < 0,01$	0,987	0,968—1,0
Distance parcourue (m)	4434 ± 581	3080 ± 357	$p < 0,01$	0,987	0,969—1,0

La figure 28 illustre la courbe ROC pour les valeurs de VMA. Celle-ci est un outil statistique qui a pour objectif de déterminer la capacité du test à distinguer entre les deux groupes de niveaux de pratique différents. Les résultats observés de l'aire sous la courbe ROC du VMA est de 0,987 (IC 95 % : 0,968—1,0).



**Figure 28** : Courbe ROC du VMA au test 180/20<sub>IAT</sub>

#### 4. Discussion

L'objectif principal de cette étude était d'évaluer la fiabilité et la reproductibilité de la VMA obtenue avec un nouveau test intermittent de course à pied (180/20<sub>IAT</sub>) par rapport à un test classique progressif (VAM-T), chez des coureurs de demi-fond. Nous avons étudié également la sensibilité du 180/20<sub>IAT</sub>, en déterminant sa capacité à différencier entre des athlètes de niveaux de pratique et de compétitions différents. Les résultats ont montré que les valeurs de VMA obtenues lors des deux tests ne sont pas significativement différentes. De même, aucune différence de FC<sub>max</sub> n'a été observée. En revanche, la concentration en lactates sanguins était significativement supérieure dans 180/20<sub>IAT</sub> par rapport à VAM-T. De plus, les résultats ont montré que le 180/20<sub>IAT</sub> avait une reproductibilité élevée et sensible à l'entraînement.

Dans la présente étude, nous avons observé que le 180/20<sub>IAT</sub> donne des VMA similaires à un test continu de terrain (VMA-T). Le VMA-T a été réalisé dans le but d'obtenir une mesure de VMA (Cazorla, 1990), que nous avons utilisé comme référence dans cette étude. De plus, la VMA obtenue lors des deux tests était significativement corrélée ( $r = 0,91$ ,  $p < 0,05$ ). La différence entre  $VMA_{VAM-T}$  et  $VMA_{180/20IAT}$  est de  $0,2 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  en moyenne, soit une différence non significative de 3%. Les VMA sont très proches dans la mesure où 36 athlètes sur 47, soit les 2/3, ont un écart de moins de  $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ , avec un risque d'erreur global qui n'excède jamais  $1,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ .

Ces résultats sont comparables à d'autres études rapportés dans la littérature comparant différents tests de détermination de la VMA (tableau 25). En effet, Carminatti et al. (2013) ont montré que la VMA moyenne obtenue à partir d'un test intermittent de terrain ( $15,6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) n'était pas très différente de la vitesse atteinte à la fin du VAM-T ( $15,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ), avec une



corrélation très élevée ( $r = 0,98$ ). Berthon et al. (1997) ont quant à eux trouvé des valeurs similaires de VMA en comparant un test de terrain de 5min et le test UM-TT ( $17,1 \pm 2,3$  et  $18,2 \pm 2,3$ , respectivement ;  $r = 0,97$ ). De la même manière, Berthoin et al. (1996) ont remarqué que la VMA obtenue lors d'un protocole intermittent sur tapis roulant ( $17,1 \text{ km.h}^{-1}$ ) n'est pas différente à celle obtenue durant UM-TT ( $16,7 \text{ km.h}^{-1}$ ). Bellenger et al. (2015) ont aussi constaté que la VMA obtenue dans UM-TT et à partir des distances contre la montre comprises entre 1 600 et 2000 m sont identiques. De plus, dans notre étude, l'analyse de Bland-Altman fait apparaître une concordance acceptable dans un processus d'entraînement entre  $VMA_{VAM-T}$  et  $VMA_{180/20IAT}$  (figure 26B), avec 95% des différences qui se trouvent à l'intérieure des limites d'agrément de  $\pm 1,5 \text{ km.h}^{-1}$ . Ces limites sont plus grandes à ceux rapportées par Carminatti et al. (2013) qui ont montré que la variation individuelle était d'environ  $\pm 0,5 \text{ km.h}^{-1}$  de la valeur réelle. Par conséquent, la validité externe du 180/20<sub>IAT</sub> pour déterminer la VMA semble similaire voire meilleure que celle d'autres tests déjà validés. Ce résultat est d'ailleurs largement confirmé par nos faibles limites d'agrément à 95%.

Il faut cependant noter que l'incrémentation de la vitesse était différente pour les deux épreuves ( $0,5 \text{ km.h}^{-1}$  par étape de 1 min pour VAM-T,  $0,5 \text{ km.h}^{-1}$  par étape de 200 m pour 180/20<sub>IAT</sub>). En ce qui concerne le 180/20<sub>IAT</sub>, la distance totale de 200 m pour chaque étape (180m de course entrecoupé de période de récupération de 20 m pour permettre une adaptation de la vitesse) a été choisie car les coureurs de demi-fond utilisent des exercices intermittents courts (sur une distance d'environ de 200 m) dans le cadre de leurs entraînements (Aubert & Choffin, 2011; Brandon, 1995; Temple, 1992). De plus, cette distance pour chaque étape (200 m) a également été choisie, car il a été démontré que le temps réalisé sur de 200 m pourrait être utilisé pour prédire la performance sur 800m chez les coureurs de demi-fond (Brandon, 1995).

**Tableau 25** : Les études comparant les tests intermittents et les tests continus

Auteurs	N	Evaluations	Vitesse (km.h <sup>-1</sup> )	R
Berthoin et al. (1994)	17	UM-TT	15,8±1,9	0,94
		Protocole intermittent sur tapis roulant	15,9±2,6	
Berthoin et al. (1996)	11	UM-TT	16,7±0,3	0,96
		Protocole intermittent sur tapis roulant	17,1±0,5	
Berthoin et al. (1997)	51	Test de 5min	17,1±2,3	0,97
		UM-TT	18,2±2,3	
Aziz et al. (2005)	21	Test navette de 20 m	13,6±0,4	0,63
		Yo-Yo test (niveau 2)	15,7±0,8	
Schnitzler et al. (2010)	12	UM-TT	15,8±0,8	0,76
		3'30'' test de capacité d'endurance	13,2±0,7	
Dupont et al. (2010)	14	UM-TT	16,8±1,1	0,79
		Yo-Yo test (niveau 1)	16,5±0,6	
Carminatti et al. (2013)	18	VAM-T	15,5±1,3	0,98
		Carminatti test	15,6±1,2	
Los Arcos et al. (2019)	14	UM-TT	16,7±0,8	0,67
		Protocole intermittent sur tapis roulant	15,9±0,9	
Darendeli et al. (2020)	18	UM-TT	15,3±1,0	0,69
		Yo-Yo test (niveau 1)	16,9±1,0	

UM-TT : Université de Montréal Track test ; VAM-T : test VAM-EVAL.

Selon les données actuelles,  $180/20_{IAT}$  était corrélé avec les autres indicateurs de la capacité maximale du métabolisme aérobie. Les valeurs de la  $FC_{max}$  ne montrent aucune différence significative entre les deux tests (tableau 22) et sont proches du maximal théorique, comme il se doit à la fin d'un test de détermination de la VMA (Fraisie et al., 1991; Howley et al., 1995). Ces résultats sont en accord avec ceux de Carminatti et al. (2013) qui ont constaté que la  $FC_{max}$  moyenne obtenue lors d'un un test de terrain intermittent ( $178 \pm 12$  bpm) était similaire à celle obtenue à l'aide du VAM-T ( $180 \pm 13$  bpm), et Dupont et al. (2010) qui ont trouvé des valeurs similaires en comparant UM-TT ( $192 \pm 8$  bpm) et Yo-Yo intermittent recovery test ( $191 \pm 7$  bpm). L'homogénéité des valeurs de FC à l'issue des deux tests a permis de confirmer l'effort maximal à la fin du  $180/20_{IAT}$  et indique que ce test peut être utilisé pour déterminer la  $FC_{max}$ .

La concentration du lactate est aussi un indicateur fréquemment utilisé pour savoir si l'exercice a été réalisé de façon maximale (Howley et al., 1995; Rieu, 1986). Les résultats de ce travail montrent que la valeur moyenne de lactate (tableau 22) est significativement plus élevée avec 180/20<sub>IAT</sub> qu'avec VAM-T (différence de 0,5 mmol.L<sup>-1</sup>). Cette différence est faible mais significative peut être expliquée par plusieurs facteurs. En effet, la reprise brutale de la vitesse entre deux paliers durant 180/20<sub>IAT</sub> (après la récupération) pénalise les athlètes en fin de course, en sollicitant « abruptement » la glycolyse lactique pour répondre à cette augmentation rapide de la vitesse de course. De plus, 180/20<sub>IAT</sub> étant relativement plus long que VAM-T, il sollicite d'avantage la glycolyse anaérobie et favorise l'accumulation du lactate dans le sang. Le facteur le plus important est toutefois sans doute la récupération existante dans 180/20<sub>IAT</sub>. À l'appui de cette idée, des études antérieures rapportaient une participation anaérobie importante lors d'un exercice intermittent (Buchheit et al., 2009; Dorado et al., 2004; Miladi et al., 2011). Comme la consommation maximale d'oxygène est considérée comme le meilleur indicateur de la capacité maximale du métabolisme aérobie et que le VO<sub>2</sub>max est régulièrement évalué lors des tests d'effort progressifs (Coquart et al., 2016; Coquart et al., 2014), les futures études pourraient comparer le VO<sub>2</sub>max entre un test continu et le 180/20<sub>IAT</sub>.

Par conséquent, les résultats de notre étude montrent que le 180/20<sub>IAT</sub> est fiable pour mesurer la VMA. Ce nouveau test apparaît comme une alternative valable aux tests de piste traditionnels. En effet, L'avantage du 180/20<sub>IAT</sub> est que les premiers paliers servent d'échauffement. Mais l'inconvénient majeur est que la durée et l'intensité de l'échauffement sont dépendantes du niveau de performance de l'athlète. En effet, moins un sujet est entraîné, plus l'échauffement sera, relativement parlant, court et intense. Cela a également été observé durant VAM-T (Vuorimaa et al., 2008). On sait en effet que le test lui-même produit une fatigue et qu'il ne doit donc pas dépasser une certaine limite (Boullosa et al., 2011; García-Pinillos et al., 2016).

Le second objectif de l'étude était d'examiner la reproductibilité du 180/20<sub>IAT</sub>. Des études cliniques ont suggéré que les tests procurant des valeurs de CV % inférieures à 10 % et ICC supérieures à 0,75, devraient être considérés comme capables de déterminer l'acceptation pratique des variations cliniques (Coppeters et al., 2002). Dans notre étude, les valeurs de CV et ICC test-retest concernant la VMA et la FCmax (CV= 7,7-1,9 %, ICC= 0,95-0,92, respectivement) se situaient dans les plages acceptables décrites par Hopkins et al. (2009). Ces résultats ont révélé que le 180/20<sub>IAT</sub> est suffisamment reproductible pour être recommandé aux entraîneurs et aux athlètes, ce qui soutient son utilisation. Cette

reproductibilité est équivalente à celle indiquée dans plusieurs études (Crotti et al., 2018; Grgic et al., 2019; Krstrup et al., 2003; Manouvrier et al., 2016; Teixeira et al., 2014). Da Silva et al. (2011) ont observé un ICC très similaire à notre étude de 0,94 (IC 95%: 0,89–0,97) basé sur deux tests de Carminatti (test intermittent). De la même façon, Grgic et al. (2019) indiquent dans un revue systématique que le Yo-Yo intermittent test (dans toutes ses variantes) a généralement une fiabilité test-retest bonne à excellente (ICC de 0,78 à 0,98 ; les coefficients de variation variaient de 3,7 à 19,0%). De plus, dans la présente étude, l'analyse de Bland-Altman a montré une concordance acceptable entre la  $VMA_{180/20IAT}$  durant la répétition de deux  $180/20IAT$  en une semaine, avec 95% des différences se situant dans les limites de la concordance de -1,04 et 0,82  $km.h^{-1}$  (biais = -0,10  $km.h^{-1}$ ) (figure 26B). Ces valeurs sont comparables à celles rapportées par Castagna et al. (2014) qui ont démontré la fiabilité test-retest du test 45-15 pour évaluer la capacité aérobie (biais = -0,21  $km.h^{-1}$ ; -1,04 et 0,62) et par Da Silva et al. (2011) qui ont rapporté la reproductibilité du test de Carminatti (biais = 0,26  $km.h^{-1}$ ; -0,96-0,32). Ces résultats ont fourni des preuves de l'excellente fiabilité test-retest du  $180/20IAT$  qui le rend apte à suivre les changements de performance induits par l'entraînement des coureurs de demi-fond.

L'objectif de la deuxième phase de cette étude était d'étudier la sensibilité du  $180/20IAT$ . Il s'agit de vérifier la capacité du test proposé à distinguer entre des sportives de niveaux de pratique et de compétitions différents. L'une des méthodes statistiques la plus habituellement utilisée, durant ces dernières années, pour étudier la sensibilité d'un outil de mesure est le receiver operating characteristic (la courbe ROC). En fait, l'aire sous la courbe ROC permet de déterminer le seuil de validité, qui sert à déterminer la capacité discriminative du test (Impellizzeri & Marcora, 2009). En règle générale, une zone de 0,50 indique que la mesure est aléatoire (Barreca et al., 2005), alors qu'une valeur supérieure à 0,7 est généralement considérée comme une bonne sensibilité du test. Une valeur de 1,0 montre que la mesure est parfaite pour différencier entre deux groupes (Dardouri et al., 2014; Menaspà et al., 2010). Nos résultats montrent que la valeur observée de l'aire sous la courbe ROC du VMA est de 0,98 (IC 95 % : 0,968—1,0). Ces résultats confirment que le  $180/20IAT$  est largement capable de distinguer entre les athlètes de demi-fond ayant des niveaux de pratique différents. En d'autres termes, les athlètes de demi-fond entraînés ont une meilleurs VMA que les sujets débutants, Comme il a été démontré récemment (Adami et al., 2020). D'un point de vue pratique, ce paramètre est d'une utilité primordiale dans la procédure de détection et sélection des athlètes de demi-fond.

## 5. Conclusion

En conclusion, les résultats de la présente étude montrent que le  $180/20_{IAT}$  est valide chez les coureurs de demi-fond et avait une excellente reproductibilité. De plus, le  $180/20_{IAT}$  est sensible à l'entraînement et pouvait parfaitement discriminer entre les athlètes de demi-fond de niveau de pratique et d'expérience différents. Par conséquent,  $180/20_{IAT}$  apparaît comme une alternative intéressante et pratique aux tests continus progressifs et maximaux, et semble aussi précis pour déterminer une vitesse référence pour prescrire les allures des exercices intermittents chez les athlètes de demi-fond.

<p style="text-align: center;"><b>CHAPITRE III</b></p> <p style="text-align: center;"><b>RELATION ENTRE <math>180/20_{IAT}</math> ET LA PERFORMANCE EN DEMI-FOND</b></p>
--

## Présentation du chapitre III

---

### **1. Introduction**

### **2. Matériels et méthodes**

#### *2.1. Sujets*

#### *2.2. Procédure*

#### *2.3. Tests contre la montre*

#### *2.4. Analyse statistique*

### **3. Résultats**

### **4. Discussion**

### **5. Conclusion**

## 1. Introduction

Le recours à la relation entre les tests d'endurance et la performance continue de faire l'objet de nombreuses études afin d'étudier les variations de la performance d'endurance. Bien que la performance en endurance est corrélée avec un ensemble d'indicateurs comme le seuil anaérobie (Poole et al., 2021), l'index d'endurance (Péronnet & Thibault, 1987) et l'économie de course (Tawa & Louw, 2018), le  $VO_2\text{max}$  demeure, pour de nombreux auteurs, un déterminant majeur de la performance en endurance (Billat, 2001; Lanferdini et al., 2020; McLaughlin et al., 2010).

Si aujourd'hui de nombreuses études confirment l'efficacité de l'entraînement intermittent pour améliorer la performance dans les sports d'endurance en générale, une connaissance de la relation de ce type d'exercice avec un test spécifique à la course à pied est nécessaire afin de saisir leur utilité. De ce fait, l'objectif de la présente étude était de vérifier si la vitesse maximale aérobie obtenue à partir du 180/20<sub>IAT</sub> ( $VMA_{180/20IAT}$ ) est liée à la performance sur une distance de 800m et 1500m.

Nous avons émis l'hypothèse que  $VMA_{180/20IAT}$  est mieux corrélée à la performance sur 800m et 1500m que la vitesse maximale aérobie obtenue lors du VAM-T ( $VMA_{VAM-T}$ ).

## 2. Matériels et méthodes

### 2.1. *Sujets*

Un totale de 19 coureurs de 800m et 1500m masculins représentant 2 clubs d'athlétisme à Mostaganem (Athletic club 27 et AFFAK Mostaganem) ont participé à cette étude. L'âge, le poids, la taille, IMC et le nombre d'années d'entraînement étaient de  $20,3 \pm 1,7$  ans,  $69,5 \pm 4,1$  kg,  $176,1 \pm 4,1$  cm,  $22,3 \pm 0,9$  kg.m<sup>2</sup> et  $6,1 \pm 1,7$  ans, respectivement. Après avoir été informés des démarches de la recherche, tous les sujets ont donné leur consentement écrit pour participer à l'étude.

### 2.2. *Procédure*

Les sujets ont d'abord réalisé deux tests dans un ordre aléatoire, un VAM-T et un 180/20<sub>IAT</sub> sur piste à 48 heures d'intervalle, permettant de déterminer la VMA lors de chaque test. Pour évaluer la relation avec la performance au cours des deux tests, les sujets ont réalisé deux tests contre la montre, dans un ordre aléatoire et à une semaine d'intervalle. Un test de 800 m et un autre de 1500 m reflète le niveau actuel des athlètes. Les tests ont été réalisés dans des conditions extérieures similaires.

### 2.3. *Tests contre la montre*

Après avoir réalisé un test de VAM-T et un test de 180/20<sub>IAT</sub> permettant de déterminer la VMA, les sujets ont réalisé deux tests contre la montre (800 m et 1500m) sur une piste d'athlétisme de 400 m, à une semaine d'intervalle. Les sujets ont effectué un échauffement de 20 minutes dans la séquence suivante: 10 minutes de course d'intensité légère, 5 minutes d'étirement et 5 minutes de course accélérée. Les participants ont été invités à parcourir la distance dans les plus brefs délais et à porter le même type de vêtements (chaussures de course, t-shirts légers et shorts légers). Le temps en secondes a été recueilli après l'exercice.

### 2.4. *Analyse statistique*

L'ensemble des résultats sont présentés sous la forme : moyenne  $\pm$  écart type. La relation entre les performances de course sur 800 m, 1500 m et la VMA mesurée au cours de chaque test a été examinée à l'aide des coefficients de corrélation de Pearson ( $r$ ). Le seuil de significativité retenu était de  $p < 0,05$ . Le logiciel statistique SPSS version 23 (Inc., IBM, Chicago, USA) pour Windows a été utilisé.

## 3. Résultats

Le tableau 26 représente la VMA calculée lors des deux tests et le temps réalisé sur 800 m et 1500 m, tandis que le tableau 27 indique les relations entre la VMA mesurée lors du VAM-T, 180/20<sub>IAT</sub> et la performance réalisée sur 800 m et 1500 m. Le temps moyen du 800 m était de  $125 \pm 6$  s (plage : 112-135 s). La vitesse représentait  $119,8 \pm 5,5$  % (plage : 108-129 %) du  $VMA_{VAM-T}$  et  $119,3 \pm 6,0$  % (plage : 108-133 %) du  $VMA_{180/20IAT}$ . Le temps moyen du 1500 m était de  $258 \pm 13$ s (plage : 236-293 s). La vitesse représentait  $109,0 \pm 4,4$  % (plage : 102-117 %) du  $VMA_{VAM-T}$  et  $108,7 \pm 4,7$  % (plage : 103-119 %) du  $VMA_{180/20IAT}$ .

**Tableau 26** : Performances réalisées lors des 4 tests

$VMA_{VAM-T}$ ( $km.h^{-1}$ )	$VMA_{180/20IAT}$ ( $km.h^{-1}$ )	Temps du 800m (s)	Temps du 1500m (s)
$19,1 \pm 1,1$	$19,2 \pm 1,4$	$125 \pm 6s$	$258 \pm 13s$

Des relations significatives ont été trouvées entre la performance du 800 m, 1500m et la VMA obtenue lors des deux tests. L'analyse de corrélation de Pearson a montré une très grande relation négative ( $r = -0,78$ ,  $p < 0,01$ ) entre la performance du 800 m et  $VMA_{180/20IAT}$  (figure 29A), et une grande relation négative ( $r = -0,66$ ,  $p < 0,01$ ) entre la performance du 800 m et



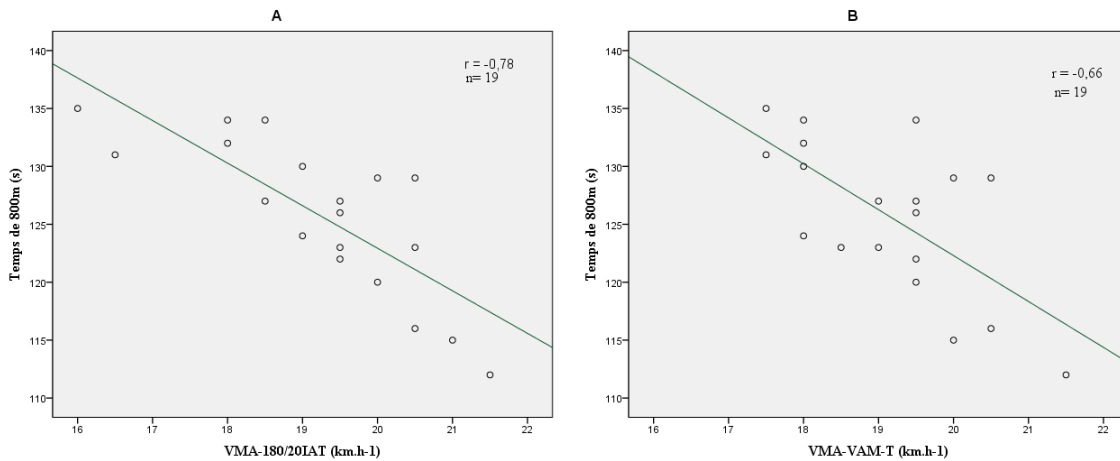
VMA<sub>VAM-T</sub> (figure 29B). De la même manière, une très grande relation négative ( $r = -0,85$ ,  $p < 0,01$ ) a été observée entre la performance du 1500 m et VMA<sub>180/20IAT</sub> (figure 30A), et la performance du 1500 m ( $r = -0,71$ ,  $p = 0,001$ ) et VMA<sub>VAM-T</sub> (figure 30B).

**Tableau 27** : Coefficient de corrélation entre la VMA obtenue lors des deux tests et la performance réalisée sur 800 m et 1500 m

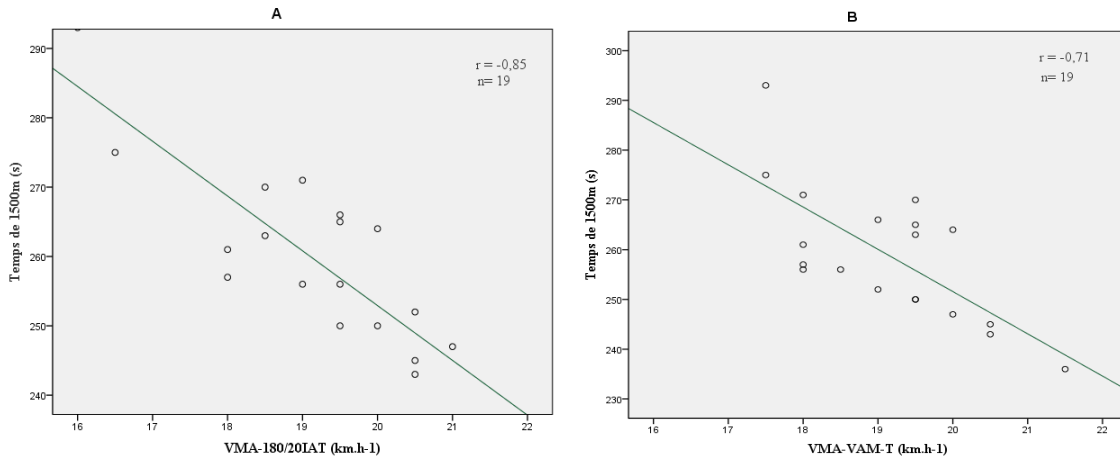
	800 m	1500 m
VMA <sub>180/20IAT</sub>	0,78	0,85
VMA <sub>VAM-T</sub>	0,66	0,71

VMA<sub>180/20IAT</sub> : la vitesse maximale aérobie obtenue lors du 180/20IAT

VMA<sub>VAM-T</sub> : la vitesse maximale aérobie obtenue lors du VAM-T



**Figure 29** : (A) Relation entre la performance du 800 m et VMA<sub>180/20IAT</sub>. (B) Relation entre la performance du 800 m et VMA<sub>VAM-T</sub>



**Figure 30 :** (A) Relation entre la performance du 1500 m et VMA<sub>180/20IAT</sub>. (B) Relation entre la performance du 1500 m et VMA<sub>VAM-T</sub>

#### 4. Discussion

L'objectif de la présente étude était d'analyser la relation entre VMA<sub>180/20IAT</sub> et la performance sur 800 m et 1500 m chez les coureurs de demi-fond. La principale conclusion de la présente étude est que VMA<sub>180/20IAT</sub> est fortement corrélée avec les performances réalisées sur 800 m et 1500 m.

Plusieurs études ont démontré une forte relation entre les performances réalisées sur des courses de demi-fond et la VMA (Ingham et al., 2008; Lacour et al., 1990). Nos résultats sont en bon accord avec les résultats obtenus par Ingham et al. (2008) qui ont observé une relation importante entre la VMA mesurée sur tapis roulant lors d'un test de course incrémentale intermittent et les performances de course sur 800 m (15 masculins,  $r = 0,53$  et 16 femmes,  $r = 0,82$ ) et 1500m (15 masculins,  $r = 0,71$  et 16 femmes,  $r = 0,92$ ) chez 31 coureurs spécialistes de la course de demi-fond. Des relations ont également été observées entre la VMA et la performance de course sur 1500 m ( $r = 0,62-0,72$ ) chez des athlètes entraînés (Boileau et al., 1982; Padilla et al., 1992). La présente étude confirme que la VMA déterminée à partir du VAM-T était significativement liée à la performance sur 800 m ( $r = -0,66$  considéré comme grand,  $p < 0,01$ ) et 1500 m ( $r = -0,71$  considéré comme très grand,  $p < 0,01$ ) En accord avec notre hypothèse, des meilleures corrélations significatives entre les performances de course sur 800 m ( $r = -0,78$  considéré comme très grand,  $p < 0,01$ ) et 1500 m ( $r = -0,85$  considéré comme très grand,  $p < 0,01$ ) et la VMA obtenue pendant 180/20<sub>IAT</sub> ont été notées. Ainsi, la VMA obtenue lors du 180/20<sub>IAT</sub> est un meilleur prédicteur de la performance sur 800 m et 1500 m que la VMA obtenue à partir du VAM-T. Ces résultats

peuvent être considérés comme une conséquence de la forme intermittente du 180/20<sub>IAT</sub> qui simule l'entraînement quotidien des coureurs de demi-fond.

Le succès dans la course de demi-fond et de fond de haut niveau implique à la fois le métabolisme aérobie et anaérobie (Lacour et al., 1990; Yoshida et al., 1990). Cependant, les coureurs de demi-fond courent généralement à un pourcentage plus élevé de VMA que les coureurs de fond (Ingham et al., 2008). Au cours des tests (800 m et 1500 m) réalisés dans cette étude, on estime que les coureurs atteindront respectivement environ 119 % et 108 % de la VMA, une caractéristique qui suggère une relation différente avec la performance. Cette intensité est probablement liée à l'état d'équilibre maximal de lactate. Cela a été amplement démontré dans d'autres études (Leti et al., 2012; Peinado et al., 2006).

## **5. Conclusion**

En conclusion, cette étude apporte un soutien empirique à la validité constructive d'un test intermittent incrémental tel que 180/20<sub>IAT</sub> en tant qu'indicateur de la performance physique chez les athlètes de demi-fond. De plus, la VMA obtenue lors de ce test était significativement corrélée à la performance de course sur 800 m et 1500 m. Bien que les deux tests (VAM-T et 180/20<sub>IAT</sub>) étaient significativement corrélés à la performance sur 800 m et 1500 m, le 180/20<sub>IAT</sub> était mieux lié à la performance en demi-fond que le VAM-T. Cela suggère que ces deux tests sont utiles pour l'évaluation du métabolisme aérobie des athlètes de demi-fond. De futures études utilisant un échantillon de plus grande taille sont nécessaires pour confirmer nos résultats.

## Applications pratique

L'évaluation de la vitesse maximale aérobie est essentielle pour les coureurs de demi-fond et les entraîneurs, pour cela il crucial de choisir un test spécifique. La présente étude a montré que les athlètes et les entraîneurs peuvent utiliser le  $180/20_{IAT}$  car il conduit à une VMA particulière qui prend en compte diverses qualités sollicitées lors de l'entraînement intermittent des coureurs de demi-fond, à savoir, la performance du métabolisme aérobie et la capacité de récupérer entre les exercices intermittents. Sur la base des résultats de cette étude, le  $180/20_{IAT}$  peut faire la distinction entre des athlètes de niveaux de pratique et de compétitions différents. De plus, le  $180/20_{IAT}$  était reproductible et très largement corrélé à la performance de course sur 800 m et 1500m suggérant qu'elle pourrait donc être un outil très utile pour prescrire une vitesse de référence pour l'entraînement intermittent chez les athlètes de demi-fond.

### Limites et perspectives

Comme limitation potentielle de l'étude il n'y avait pas de mesures de la consommation maximale d'oxygène pendant les tests. Cependant, il est important de souligner le choix méthodologique qui a été apporté. Tous les tests sur le terrain ont été développés pour déterminer des variables physiologiques importantes de la performance du métabolisme aérobie. Par exemple, le VAM-T est considéré comme un test hautement pertinent pour prescrire un entraînement en endurance. Travaillant sur des sujets actifs, Carminatti et al. (2013) ont également utilisé la VMA dérivée du VAM-T comme référence unique. De plus, Billat et al. (1996) ont montré que divers protocoles entraînaient des résultats similaires, malgré que dans une étude de synthèse, Billat et Koralsztejn (1996) ont confirmé qu'une variance de près de 10 % de la VMA peut être attendue entre les protocoles par paliers successifs. Néanmoins, la littérature suggère que la VAM-T est un test valide pour évaluer la vitesse maximale aérobie. D'un point de vue pratique, il serait pertinent de comparer les résultats obtenus par le test proposé dans cette étude avec celles du VAM-T.

Pour compléter le travail présent, des perspectives sont aussi envisageables. Premièrement, Il nous paraît en particulier nécessaire de reproduire ce travail de recherche mais à l'aide d'un analyseur de gaz portable sur le terrain. Cela présente une grande importance afin de confirmer que la dernière étape coïncide avec le  $VO_{2max}$ , et donc la VMA. Une seconde perspective pourrait être d'une part de vérifier si la relation entre le  $180/20_{IAT}$  et la VAM-T reste similaire quel que soit le niveau des sportifs, en particulier pour les sujets de haut niveau, d'autre part, examiner un échantillon plus large. Une autre perspective pourrait être de tester la fiabilité du  $180/20_{IAT}$  pour d'autres disciplines à caractère intermittent. Les sports collectifs largement pratiqués comme le football et le handball retiennent notre attention et peuvent également nous informer sur la fiabilité du  $180/20_{IAT}$ .

## Conclusion générale et recommandations

L'endurance humaine est la faculté à maintenir un grand pourcentage de la VMA au cours d'une épreuve d'une durée donnée. l'entraînement des athlètes de demi-fond repose sur le développement de l'endurance (Berryman et al., 2018), et particulièrement à l'aide des exercices intermittents (Brandon, 1995). C'est dans cette logique que nous avons mené pendant plus de trois ans ce travail de thèse afin de développer un test de terrain intermittent qui respecte le mode d'entraînement des athlètes de demi-fond.

Nous avons tout d'abord mené une étude préliminaire qui avait pour objectif de définir le protocole de test qui donne une précision d'estimation de la VMA en comparaison avec un test classique de course sur piste. Comme le VAM-T une épreuve de terrain valide pour mesurer la VMA, il est utilisé comme un test de référence lors de cette recherche. Trois épreuves ont été utilisées à différentes distances :  $80/20_{VMA}$ ,  $150/50_{VMA}$  et  $180/20_{IAT}$ . La troisième épreuve ( $180/20_{IAT}$ ) a donné des résultats satisfaisantes et comparables au VMA-T. Notre deuxième objectif était de valider le  $180/20_{IAT}$  sur un échantillon plus large de demi-fondeurs. La fidélité et la sensibilité du  $180/20_{IAT}$  ont aussi été étudiées. Après avoir étudié la fiabilité du  $180/20_{IAT}$  dans le chapitre précédent, nous avons souhaité approfondir notre recherche. Nous avons analysé le lien entre le  $180/20_{IAT}$  et la performance en demi-fond sur deux distances (800 m et 1500 m).

Les travaux réalisés dans le cadre de cette thèse ont permis de confirmer la validité externe et notamment la fidélité du test intermittent de course sur piste ( $180/20_{IAT}$ ) dans le contexte actuel d'entraînement des athlètes de demi-fond. Les données obtenues tendent à confirmer la bonne corrélation entre la vitesse finale obtenue lors du  $180/20_{IAT}$  et la vitesse du dernier palier atteint lors du VAM-T ( $r = 0,91$ ). Ces résultats viennent renforcer que la vitesse maximale atteinte lors du  $180/20_{IAT}$  peut être considérée comme une vitesse maximale aérobie (VMA) qui sera utilisée comme référence pour fixer une vitesse de travail adaptée aux exercices intermittents, ce qui offre une alternative aux entraîneurs pour évaluer la VMA des demi-fondeurs. Nous avons également démontré que le  $180/20_{IAT}$  avait une excellente reproductibilité et pouvait parfaitement discriminer entre les athlètes de demi-fond de niveau de pratique et d'expérience différents. De plus, il a été clairement démontré que le  $180/20_{IAT}$  était mieux lié à la performance en demi-fond que le VAM-T, ce qui renforce son intérêt en pratique dans le domaine de l'évaluation des athlètes de demi-fond.

Cependant, le  $VO_{2max}$  reste un déterminant majeur pour juger la validité d'un test pour évaluer la VMA. D'autres études apparaissent cependant nécessaires pour valider l'utilisation du  $180/20_{IAT}$  afin de définir une  $vVO_{2max}$  spécifique aux exercices intermittents.

Pour un suivi adapté des athlètes de demi-fond sur le terrain, il est recommandé de réaliser le 180/20<sub>IAT</sub> pour obtenir une VMA utilisable à l'entraînement intermittent du coup, mieux orienter les intensités d'entraînement. A cet égard, il a été suggéré d'utiliser une VMA spécifique aux exercices intermittents (Gacon, 1990 ; Cazorla, 2004). Sur le plan pratique, ce test permet aux athlètes de demi-fond de mieux ressentir le mode d'entraînement intermittent et ainsi de mieux gérer l'intensité lors de cette forme d'exercice. Il est aussi recommandé aux athlètes bien entraînés de démarrer le test à une vitesse avancée (par exemple 12 km.h<sup>-1</sup> au lieu de 8 km.h<sup>-1</sup>) afin d'éviter une durée très longue de l'épreuve.

En conclusion, chaque test d'évaluation de la vitesse maximale aérobie présente ses propres atouts, ce qui nous permet de réfléchir à une méthode de détermination de la VMA qui reposerait sur l'entraînement quotidien des athlètes de demi-fond (exercices intermittents). En terme d'outil d'évaluation de terrain, nous pouvons conclure que cette thèse a apporter un outil de terrain spécifique à la disposition des entraîneurs, peu coûteux et facilement utilisable pour déterminer la vitesse maximale aérobie d'une façon qui ne diffère pas des conditions d'entraînement des athlètes de demi-fond.

# **BIBLIOGRAPHIE**



- [1] **A**bernethy, P., Wilson, G., & Logan, P. (1995). Strength and power assessment. Issues, controversies and challenges. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 19(6), 401-417. <https://doi.org/10.2165/00007256-199519060-00004>.
- [2] Acevedo, E. O., & Goldfarb, A. H. (1989). Increased training intensity effects on plasma lactate, ventilatory threshold, and endurance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 21(5), 563-568.
- [3] Adami, P. E., Rocchi, J. E., Melke, N., & Macaluso, A. (2020). Physiological comparison between competitive and beginner high intensity functional training athletes. *Journal of Human Sport and Exercise*, 0(0), in press. <https://doi.org/10.14198/jhse.2022.173.06>.
- [4] Ahmaidi, S., Adam, B., & Préfaut, C. (1990). Validité des épreuves triangulaires de course navette de 20-M et de course sur piste pour l'estimation de la consommation maximale d'oxygène du sportif. *Science & Sports*, 5(2), 71-76. [https://doi.org/10.1016/S0765-1597\(05\)80208-4](https://doi.org/10.1016/S0765-1597(05)80208-4).
- [5] Ali Almarwaey, O., Mark Jones, A., & Tolfrey, K. (2003). Physiological correlates with endurance running performance in trained adolescents. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(3), 480-487. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000053723.16531.D0>.
- [6] Amoretti, R., Bigard, X., Monod, H., Rivière, D., Rochcongar, P., & Rodineau, J. (2020). *Médecine du sport : Pour le Praticien*. Elsevier Health Sciences.
- [7] Assadi, H. (2012). Réponses physiologiques au cours d'exercices intermittents en course à pieds. Thèse de doctorat. Université de Bourgogne, France.
- [8] Assadi, H., & Lepers, R. (2012a). Réponse physiologique et temps d'effort maximal lors d'exercices intermittents courus à la vitesse maximale aérobie. *Movement & Sport Sciences - Science & Motricité*, 77, 53-59. <https://doi.org/10.1051/sm/2012004>.
- [9] Assadi, H., & Lepers, R. (2012b). Comparison of the 45s-15s Intermittent Running Field Test and the Continuous Treadmill Test. *International Journal of Sports Physiology and Performance*.

- [10] Åstrand, P.-O., & Rodahl, K. (1994). *Précis de physiologie de l'exercice musculaire*. Elsevier Masson.
- [11] Åstrand, P.-O., Rodahl, K., Dahl, H. A., & Strømme, S. B. (2003). *Textbook of Work Physiology: Physiological Bases of Exercise*. Human Kinetics.
- [12] Aubert, F., & Choffin, T. (2011). *Athlétisme: Les courses*. Ed. Revue EP.S.
- [13] Aziz, A. R., Tan, F. H. Y., & Teh, K. C. (2005). A Pilot Study Comparing Two Field Tests with the Treadmill Run Test in Soccer Players. *Journal of Sports Science & Medicine*, 4(2), 105-112.
- [14] **B**abineau, C (1999). L'exercice intermittent aérobie et sa relation avec la performance en sport d'endurance. Thèse de doctorat, université de Montréal.
- [15] Bangsbo, J. (1994). The physiology of soccer—With special reference to intense intermittent exercise. *Acta Physiologica Scandinavica. Supplementum*, 619, 1-155.
- [16] Bangsbo, J., Gunnarsson, T. P., Wendell, J., Nybo, L., & Thomassen, M. (2009). Reduced volume and increased training intensity elevate muscle Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup> pump alpha2-subunit expression as well as short- and long-term work capacity in humans. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 107(6), 1771-1780. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00358.2009>.
- [17] Bangsbo, J., Iaia, F. M., & Krstrup, P. (2008). The Yo-Yo intermittent recovery test: A useful tool for evaluation of physical performance in intermittent sports. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 38(1), 37-51. <https://doi.org/10.2165/00007256-200838010-00004>.
- [18] Barnes, K. R., & Kilding, A. E. (2015). Running economy: Measurement, norms, and determining factors. *Sports Medicine - Open*, 1. <https://doi.org/10.1186/s40798-015-0007-y>.
- [19] Barreca, S. R., Stratford, P. W., Lambert, C. L., Masters, L. M., & Streiner, D. L. (2005). Test-retest reliability, validity, and sensitivity of the Chedoke arm and hand activity inventory: A new measure of upper-limb function for survivors of stroke. *Archives of*

- Physical Medicine and Rehabilitation*, 86(8), 1616-1622.  
<https://doi.org/10.1016/j.apmr.2005.03.017>.
- [20] Bassett, D. R., & Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(1), 70-84. <https://doi.org/10.1097/00005768-200001000-00012>.
- [21] Bellenger, C. R., Fuller, J. T., Nelson, M. J., Hartland, M., Buckley, J. D., & DeBenedictis, T. A. (2015). Predicting maximal aerobic speed through set distance time-trials. *European Journal of Applied Physiology*, 115(12), 2593-2598. <https://doi.org/10.1007/s00421-015-3233-6>.
- [22] Benhammou Saddek., Moulay Idriss Mokkedes., Laurent Mourot., & Ali Bengoua. (2019). Proposition d'un test d'effort intermittent pour déterminer la vitesse maximale aérobie (80/20<sub>VMA</sub>). *Journal of Sport Science Technology and Physical Activities*. 16(2), 95-107.
- [23] Benhammou Saddek., Jérémy B.J. Coquart., Laurent Mourot., Belkadi Adel., Mokkedes Moulay Idriss., Bengoua Ali., & Mokrani Djamel. (2020). Comparison of two tests to determine the maximal aerobic speed. *Acta Facultatis Educationis Physicae Universitatis Comenianae*. 60 (2): 252-262.
- [24] Benhammou Saddek., Laurent Mourot., Moulay Idriss Mokkedes., Ali Bengoua., & Adel Belkadi. (2021). Assessment of maximal aerobic speed in runners with different performance levels: interest of a new intermittent running test. *Science & sports* 36 413.e1—413.e9.
- [25] Benhammou Saddek., Laurent Mourot., Jérémy Coquart., Adel Belkadi., Moulay Idriss Mokkedes., & Ali Bengoua (2021). The 180/20 intermittent athletic test: A new intermittent track test to assess the maximal aerobic speed in middle-distance runners. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 15 (1).
- [26] Berg, K., & Bell, C.W. (1980) Physiological and anthropometric determinants of mile time. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 20(4), 390-396.
- [27] Berryman, N., Mujika, I., Arvisais, D., Roubéix, M., Binet, C., & Bosquet, L. (2018). Strength Training for Middle- and Long-Distance Performance: A Meta-Analysis.

- International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(1), 57-63. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0032>.
- [28] Berthoin, S., Baquet, G., Mantéca, F., Lenseil-Corbeil, G., & Gerbeaux, M. (1996). Maximal Aerobic Speed and Running Time to Exhaustion for Children 6 to 17 Years Old. *Pediatric Exercise Science*, 8(3), 234-244. <https://doi.org/10.1123/pes.8.3.234>.
- [29] Berthoin, S., Gerbeaux, M., Guerrin, F., Lenseil-Corbeil, G., & Vandendorpe, F. (1992). Estimation de la VMA. *Science & Sports*, 7(2), 85-91. [https://doi.org/10.1016/S0765-1597\(05\)80179-0](https://doi.org/10.1016/S0765-1597(05)80179-0).
- [30] Berthoin, S., Gerbeaux, M., Turpin, E., Guerrin, F., Lenseil-Corbeil, G., & Vandendorpe, F. (1994). Comparison of two field tests to estimate maximum aerobic speed. *Journal of Sports Sciences*, 12(4), 355-362. <https://doi.org/10.1080/02640419408732181>.
- [31] Berthoin, S., Pelayo, P., Lenseil-Corbeil, G., Robin, H., & Gerbeaux, M. (1996a). Comparison of maximal aerobic speed as assessed with laboratory and field measurements in moderately trained subjects. *International Journal of Sports Medicine*, 17(7), 525-529. <https://doi.org/10.1055/s-2007-972889>.
- [32] Berthoin, S., Pelayo, P., Lenseil-Corbeil, G., Robin, H., & Gerbeaux, M. (1996b). Comparison of maximal aerobic speed as assessed with laboratory and field measurements in moderately trained subjects. *International Journal of Sports Medicine*, 17(7), 525-529. <https://doi.org/10.1055/s-2007-972889>.
- [33] Berthon, P., Fellmann, N., Bedu, M., Beaune, B., Dabonneville, M., Coudert, J., & Chamoux, A. (1997). A 5-min running field test as a measurement of maximal aerobic velocity. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 75(3), 233-238. <https://doi.org/10.1007/s004210050153>.
- [34] Billat, L. V. (1996). Use of blood lactate measurements for prediction of exercise performance and for control of training. Recommendations for long-distance running. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 22(3), 157-175. <https://doi.org/10.2165/00007256-199622030-00003>.
- [35] Billat, L. V. (2001). Interval training for performance: A scientific and empirical practice. Special recommendations for middle- and long-distance running. Part I:

- aerobic interval training. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 31(1), 13-31. <https://doi.org/10.2165/00007256-200131010-00002>.
- [36] Billat, L. V., & Koralsztein, J. P. (1996). Significance of the velocity at VO<sub>2</sub>max and time to exhaustion at this velocity. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 22(2), 90-108. <https://doi.org/10.2165/00007256-199622020-00004>.
- [37] Billat, V. (1991). *Course de fond et performance- Aptitude physique-biomécanique— Organisation de l'entraînement*. Chiron.
- [38] Billat, V. (1998). *Physiologie et méthodologie de l'entraînement : De la théorie à la pratique*. De Boeck.
- [39] Billat, V. (2001). *L'apport de la science dans l'entraînement sportif : L'exemple de la course de fond*. *Staps*, (1), 23-43. <https://doi.org/10.3917/STA.054.0023>.
- [40] Billat, V. (2017). *Physiologie et méthodologie de l'entraînement*. De Boeck Supérieur.
- [41] Billat, V. (2018). *Révolution marathon*. De Boeck Supérieur.
- [42] Billat, V., Berthoin, S., Blondel, N., & Gerbeaux, M. (2001). La vitesse à VO<sub>2</sub> max, signification et applications en course à pied. *Staps*, no 54(1), 45-61.
- [43] Billat, V., Faina, M., Sardella, F., Marini, C., Fanton, F., Lupo, S., Faccini, P., de Angelis, M., Koralsztein, J. P., & Dalmonte, A. (1996). A comparison of time to exhaustion at VO<sub>2</sub> max in élite cyclists, kayak paddlers, swimmers and runners. *Ergonomics*, 39(2), 267-277. <https://doi.org/10.1080/00140139608964457>.
- [44] Billat, V. L., Flechet, B., Petit, B., Muriaux, G., & Koralsztein, J. P. (1999). Interval training at VO<sub>2</sub>max: Effects on aerobic performance and overtraining markers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(1), 156-163. <https://doi.org/10.1097/00005768-199901000-00024>.
- [45] Billat, V. L., Hill, D. W., Pinoteau, J., Petit, B., & Koralsztein, J. P. (1996). Effect of protocol on determination of velocity at VO<sub>2</sub> max and on its time to exhaustion. *Archives of Physiology and Biochemistry*, 104(3), 313-321. <https://doi.org/10.1076/apab.104.3.313.12908>.

- [46] Billat, V. L., Lepretre, P. M., Heubert, R. P., Koralsztein, J. P., & Gazeau, F. P. (2003). Influence of acute moderate hypoxia on time to exhaustion at  $vVO_2\text{max}$  in unacclimatized runners. *International Journal of Sports Medicine*, 24(1), 9-14. <https://doi.org/10.1055/s-2003-37251>.
- [47] Billat, V. L., Lepretre, P.-M., Heugas, A.-M., & Koralsztein, J. P. (2004). Energetics of middle-distance running performances in male and female junior using track measurements. *The Japanese Journal of Physiology*, 54(2), 125-135. <https://doi.org/10.2170/jjphysiol.54.125>.
- [48] Billat, V. L., Morton, R. H., Blondel, N., Berthoin, S., Bocquet, V., Koralsztein, J. P., & Barstow, T. J. (2000). Oxygen kinetics and modelling of time to exhaustion whilst running at various velocities at maximal oxygen uptake. *European Journal of Applied Physiology*, 82(3), 178-187. <https://doi.org/10.1007/s004210050670>.
- [49] Billat, V., Petit, B., & Koralsztein, J. P. (1996). Calibration de la durée des répétitions d'une séance d'interval training à la vitesse associée à  $VO_2\text{max}$  en référence au temps limite continu : Effet sur les réponses physiologiques et la distance parcourue. *Science et motricité (Paris)*, 28, 13-20.
- [50] Billat, V., Renoux, J. C., Pinoteau, J., Petit, B., & Koralsztein, J. P. (1994). Times to exhaustion at 100% of velocity at  $VO_2\text{max}$  and modelling of the time-limit/velocity relationship in elite long-distance runners. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 69(3), 271-273. <https://doi.org/10.1007/BF01094801>.
- [51] Billat, V., Renoux, J. C., Pinoteau, J., Petit, B., & Koralsztein, J. P. (1995). Times to exhaustion at 90, 100 and 105% of velocity at  $VO_2\text{max}$  (maximal aerobic speed) and critical speed in elite long-distance runners. *Archives of Physiology and Biochemistry*, 103(2), 129-135. <https://doi.org/10.3109/13813459508996126>.
- [52] Billat, V., Renoux, J.-C., Pinoteau, J., Petit, B., & Koralsztein, J.-P. (2011). Hypoxémie et Temps Limite à la Vitesse Aérobie Maximale Chez des Coureurs de Fond. *Canadian Journal of Applied Physiology*. <https://doi.org/10.1139/h95-008>.
- [53] Blagrove, R. C., Howatson, G., & Hayes, P. R. (2018). Effects of Strength Training on the Physiological Determinants of Middle- and Long-Distance Running Performance :

- A Systematic Review. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 48(5), 1117-1149. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0835-7>.
- [54] Bland, J. M., & Altman, D. G. (1986). Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet (London, England)*, 1(8476), 307-310.
- [55] Blondel, N., Billat, V., & Berthoin, S. (2000). Relation entre le temps limite de course et l'intensité relative de l'exercice, exprimée en fonction de la vitesse critique et de la vitesse maximale. *Science & Sports*, 15(5), 242-244. [https://doi.org/10.1016/S0765-1597\(00\)80034-9](https://doi.org/10.1016/S0765-1597(00)80034-9).
- [56] Boileau, R. A., Mayhew, J. L., Riner, W. F., & Lussier, L. (1982). Physiological characteristics of elite middle and long distance runners. *Canadian Journal of Applied Sport Sciences. Journal Canadien Des Sciences Appliquees Au Sport*, 7(3), 167-172.
- [57] Bosquet, L., Léger, L., & Legros, P. (2002). Methods to determine aerobic endurance. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 32(11), 675-700. <https://doi.org/10.2165/00007256-200232110-00002>.
- [58] Boullosa, D. A., Tuimil, J. L., Alegre, L. M., Iglesias, E., & Lusquiños, F. (2011). Concurrent fatigue and potentiation in endurance athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 6(1), 82-93. <https://doi.org/10.1123/ijsp.6.1.82>.
- [59] Boutcher, S. H. (2011). High-intensity intermittent exercise and fat loss. *Journal of Obesity*, 2011, 868305. <https://doi.org/10.1155/2011/868305>.
- [60] Bradley, P. S., Mohr, M., Bendiksen, M., Randers, M. B., Flindt, M., Barnes, C., Hood, P., Gomez, A., Andersen, J. L., Di Mascio, M., Bangsbo, J., & Krstrup, P. (2011). Sub-maximal and maximal Yo-Yo intermittent endurance test level 2: Heart rate response, reproducibility and application to elite soccer. *European Journal of Applied Physiology*, 111(6), 969-978. <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1721-2>.
- [61] Bramble, D. M., & Lieberman, D. E. (2004). Endurance running and the evolution of Homo. *Nature*, 432(7015), 345-352. <https://doi.org/10.1038/nature03052>.

- [62] Brandon, L. J. (1995). Physiological Factors Associated with Middle Distance Running Performance. *Sports Medicine*, 19(4), 268-277. <https://doi.org/10.2165/00007256-199519040-00004>.
- [63] Brandon, L. J., & Boileau, R. A. (1987). The contribution of selected variables to middle and long distance run performance. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 27(2), 157-164.
- [64] Brandon, L. J., & Boileau, R. A. (1992). Influence of metabolic, mechanical and physique variables on middle distance running. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 32(1), 1-9.
- [65] Bransford, D. R., & Howley, E. T. (1977). Oxygen cost of running in trained and untrained men and women. *Medicine and Science in Sports*, 9(1), 41-44.
- [66] Briggs, C. A. (1977). Maximum aerobic power and endurance as predictor of middle distance running success. *Aust J Sports Med*, 9(1), 28.
- [67] Brue, F. (1985). Une variante du test progressif et maximal de Léger et Boucher : Filetest vitesse maximale aérobie derrière cycliste (test VMA). *Bull Med Fed Fr Athlet*, 7, 1-18.
- [68] Buchheit, M. (2008). The 30-15 intermittent fitness test : Accuracy for individualizing interval training of young intermittent sport players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(2), 365-374. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181635b2e>.
- [69] Buchheit, M., Al Haddad, H., Millet, G. P., Lepretre, P. M., Newton, M., & Ahmaidi, S. (2009). Cardiorespiratory and cardiac autonomic responses to 30-15 intermittent fitness test in team sport players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(1), 93-100. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31818b9721>.
- [70] Buchheit, M., & Laursen, P. B. (2013). High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle. Part II : Anaerobic energy, neuromuscular load and practical applications. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 43(10), 927-954. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0066-5>.



- [71] Cappa, D. F., García, G. C., Secchi, J. D., & Maddigan, M. E. (2014). The relationship between an athlete's maximal aerobic speed determined in a laboratory and their final speed reached during a field test (UNCa Test). *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 54(4), 424-431.
- [72] Carminatti, L. J., Lima-Silva, A. E., & De-Oliveira, F. R. (2004). Aerobic fitness in intermittent sports-Evidence of construct validity and results in incremental test with pause. *Rev Bras Fisiol Exerc*, 3(1), 1-20.
- [73] Carminatti, L. J., Possamai, C. A. P., de Moraes, M., da Silva, J. F., de Lucas, R. D., Dittrich, N., & Guglielmo, L. G. A. (2013). Intermittent versus Continuous Incremental Field Tests : Are Maximal Variables Interchangeable? *Journal of Sports Science & Medicine*, 12(1), 165-170.
- [74] Casas, A. (2008). Physiology and methodology of intermittent resistance training for acyclic sports. *Journal of Human Sport and Exercise*, 3(1), 23-52. <https://doi.org/10.4100/jhse.2008.31.03>.
- [75] Castagna, C., Iellamo, F., Impellizzeri, F. M., & Manzi, V. (2014). Validity and reliability of the 45-15 test for aerobic fitness in young soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(3), 525-531. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2012-0165>.
- [76] Cazorla, G. (1990). Tests de terrain pour évaluer la capacité aérobie et la vitesse maximale aérobie. *Cazorla G, Robert G. L'évaluation en activité physique et en sport. Cestas: AREAPS*, 151-174.
- [77] Cazorla, G. (2004). Tests de terrain pour évaluer l'aptitude aérobie et utilisation de leurs résultats dans l'entraînement. *Cestas: AREAPS*, 1-31.
- [78] Cazorla, G. (2010). Les filières énergétiques de l'exercice musculaire: quoi de neuf aujourd'hui ? Réponses aiguës et chroniques. *Association pour la Recherche et l'Évaluation en Activité Physique et en Sport*.

- [79] Chamoux, A., Berthon, P., & Laubignat, J. F. (1996). Determination of maximum aerobic velocity by a five minute test with reference to running world records. A theoretical approach. *Archives of Physiology and Biochemistry*, 104(2), 207-211. <https://doi.org/10.1076/apab.104.2.207.12877>.
- [80] Chtourou, H., Driss, T., Souissi, S., Gam, A., Chaouachi, A., & Souissi, N. (2012). The effect of strength training at the same time of the day on the diurnal fluctuations of muscular anaerobic performances. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(1), 217-225. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31821d5e8d>.
- [81] Chtourou, H., & Souissi, N. (2012). The effect of training at a specific time of day : A review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(7), 1984-2005. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31825770a7>.
- [82] Conconi, F., Ferrari, M., Ziglio, P. G., Droghetti, P., & Codeca, L. (1982). Determination of the anaerobic threshold by a noninvasive field test in runners. *Journal of Applied Physiology: Respiratory, Environmental and Exercise Physiology*, 52(4), 869-873. <https://doi.org/10.1152/jappl.1982.52.4.869>.
- [83] Conconi, F., Grazi, G., Casoni, I., Guglielmini, C., Borsetto, C., Ballarin, E., Mazzoni, G., Patracchini, M., & Manfredini, F. (1996). The Conconi test : Methodology after 12 years of application. *International Journal of Sports Medicine*, 17(7), 509-519. <https://doi.org/10.1055/s-2007-972887>.
- [84] Conley, D. L., & Krahenbuhl, G. S. (1980). Running economy and distance running performance of highly trained athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 12(5), 357-360.
- [85] Coppieters, M., Stappaerts, K., Janssens, K., & Jull, G. (2002). Reliability of detecting « onset of pain » and « submaximal pain » during neural provocation testing of the upper quadrant. *Physiotherapy Research International: The Journal for Researchers and Clinicians in Physical Therapy*, 7(3), 146-156. <https://doi.org/10.1002/pri.251>.
- [86] Coquart, J. B., Garcin, M., Parfitt, G., Tourny-Chollet, C., & Eston, R. G. (2014). Prediction of maximal or peak oxygen uptake from ratings of perceived exertion.

- Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 44(5), 563-578. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0139-5>.
- [87] Coquart, J., Tabben, M., Farooq, A., Tourny, C., & Eston, R. (2016). Submaximal, Perceptually Regulated Exercise Testing Predicts Maximal Oxygen Uptake : A Meta-Analysis Study. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 46(6), 885-897. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0465-x>.
- [88] Costill, D. L., Thomason, H., & Roberts, E. (1973). Fractional utilization of the aerobic capacity during distance running. *Medicine and Science in Sports*, 5(4), 248-252.
- [89] Coyle, E. F., Martin, W. H., Ehsani, A. A., Hagberg, J. M., Bloomfield, S. A., Sinacore, D. R., & Holloszy, J. O. (1983). Blood lactate threshold in some well-trained ischemic heart disease patients. *Journal of Applied Physiology: Respiratory, Environmental and Exercise Physiology*, 54(1), 18-23. <https://doi.org/10.1152/jappl.1983.54.1.18>.
- [90] Cronin, J. B., & Henderson, M. E. (2004). Maximal strength and power assessment in novice weight trainers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(1), 48-52. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2004\)018<0048:msapai>2.0.co;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2004)018<0048:msapai>2.0.co;2).
- [91] Crotti, M., Bosio, A., & Invernizzi, P. L. (2018). Validity and reliability of submaximal fitness tests based on perceptual variables. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 58(5), 555-562. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.17.07199-70>.
- [92] **D**a Silva, J. F., Guglielmo, L. G. A., Carminatti, L. J., De Oliveira, F. R., Dittrich, N., & Paton, C. D. (2011). Validity and reliability of a new field test (Carminatti's test) for soccer players compared with laboratory-based measures. *Journal of Sports Sciences*, 29(15), 1621-1628. <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.609179>.
- [93] Daniels, J., & Daniels, N. (1992). Running economy of elite male and elite female runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24(4), 483-489.
- [94] Daniels, J., Scardina, N., Hayes, J., & Foley, P. (1984). Elite and subelite female middle- and long-distance runners. *Sport and elite performers*, 3, 57-72.

- [95] Daniels, J. T. (1985). A physiologist's view of running economy. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 17(3), 332-338.
- [96] Dardouri, W., Amin Selmi, M., Haj Sassi, R., Gharbi, Z., Rebhi, A., & Moalla, W. (2014). Reliability and discriminative power of soccer-specific field tests and skill index in young soccer players. *Science & Sports*, 29(2), 88-94. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2013.06.004>.
- [97] Darendeli, A., Vitiello, D., Billat, V. L., Diker, G., & Cuğ, M. (2020). Comparison of different exercise testing modalities to determine maximal aerobic speed in amateur soccer players. *Science & Sports*. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2020.09.006>.
- [98] Di Prampero, P. E., Capelli, C., Pagliaro, P., Antonutto, G., Girardis, M., Zamparo, P., & Soule, R. G. (1993). Energetics of best performances in middle-distance running. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 74(5), 2318-2324. <https://doi.org/10.1152/jappl.1993.74.5.2318>.
- [99] di Prampero, P. E. (1986). The energy cost of human locomotion on land and in water. *International Journal of Sports Medicine*, 7(2), 55-72. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1025736>.
- [100] di Prampero, P. E., Atchou, G., Brückner, J. C., & Moia, C. (1986). The energetics of endurance running. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 55(3), 259-266. <https://doi.org/10.1007/BF02343797>.
- [101] Dorado, C., Sanchis-Moysi, J., & Calbet, J. A. L. (2004). Effects of recovery mode on performance, O<sub>2</sub> uptake, and O<sub>2</sub> deficit during high-intensity intermittent exercise. *Canadian Journal of Applied Physiology = Revue Canadienne De Physiologie Appliquee*, 29(3), 227-244. <https://doi.org/10.1139/h04-016>.
- [102] Dupont, G., Blondel, N., Lensele, G., & Berthoin, S. (2002). Critical velocity and time spent at a high level of VO<sub>2</sub> for short intermittent runs at supramaximal velocities. *Canadian Journal of Applied Physiology = Revue Canadienne De Physiologie Appliquee*, 27(2), 103-115. <https://doi.org/10.1139/h02-008>.
- [103] Dupont, G., & Bosquet, L. (2007). *Méthodologie de l'entraînement*. Ellipses.

- [104] Dupont, G., Defontaine, M., Bosquet, L., Blondel, N., Moalla, W., & Berthoin, S. (2010). Yo-Yo intermittent recovery test versus the Université de Montréal Track Test : Relation with a high-intensity intermittent exercise. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(1), 146-150. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2008.10.007>.
- [105] **E**sfarjani, F., & Laursen, P. B. (2007). Manipulating high-intensity interval training : Effects on VO<sub>2</sub>max, the lactate threshold and 3000 m running performance in moderately trained males. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 10(1), 27-35. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2006.05.014>.
- [106] Esteve-Lanao, J., San Juan, A. F., Earnest, C. P., Foster, C., & Lucia, A. (2005). How do endurance runners actually train? Relationship with competition performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(3), 496-504. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000155393.78744.86>.
- [107] **F**arrell, P. A., Wilmore, J. H., Coyle, E. F., Billing, J. E., & Costill, D. L. (1979). Plasma lactate accumulation and distance running performance. *Medicine and Science in Sports*, 11(4), 338-344.
- [108] Fermanian, J. (1984). Mesure de l'accord entre deux juges. Cas qualitatif. *Rev Epidemiol Sante Publique*, 32(2), 140-147.
- [109] Ferré, J., & Leroux, P. (1995). *Bases physiologiques de l'entraînement*. Éd. Amphora.
- [110] Ferré, J., & Leroux, P. (2009). *Préparation aux diplômes d'éducateur sportif : Bases anatomiques et physiologiques de l'exercice musculaire et méthodologie de l'entraînement*. Editions Amphora.
- [111] Fletcher, J. R., Esau, S. P., & MacIntosh, B. R. (2009). Economy of running : Beyond the measurement of oxygen uptake. *Journal of Applied Physiology*, 107(6), 1918-1922. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00307.2009>.
- [112] Fletcher, J. R., Esau, S. P., & MacIntosh, B. R. (2010). Changes in tendon stiffness and running economy in highly trained distance runners. *European Journal of Applied Physiology*, 110(5), 1037-1046. <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1582-8>.

- [113] Foster, C., & Lucia, A. (2007). Running economy: The forgotten factor in elite performance. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 37(4-5), 316-319. <https://doi.org/10.2165/00007256-200737040-00011>.
- [114] Fox, E. L., Bartels, R. L., Klinzing, J., & Ragg, K. (1977). Metabolic responses to interval training programs of high and low power output. *Medicine and Science in Sports*, 9(3), 191-196.
- [115] Fox, E. L., Bowers, R. W., & Foss, M. L. (1989). *The Physiological Basis of Physical Education and Athletics*. Wm. C. Brown.
- [116] Fox, E. L., & Mathews, D. K. (1974). *Interval Training: Conditioning for Sports and General Fitness*. Saunders.
- [117] Fraisse, F., Desnus, B., Handschuh, R., Jousselein, E., Strady, M., & Thomaidis, M. (1991). La consommation maximale d'oxygène des sportifs de haut niveau de moins de 20 ans. *Science & Sports*, 6(1), 25-35. [https://doi.org/10.1016/S0765-1597\(05\)80232-1](https://doi.org/10.1016/S0765-1597(05)80232-1).
- [118] Gacon, G., & Assadi, H. (1990). Vitesse maximale aérobie. *Revue EPS*, 222, 37-41.
- [119] Gacon, G. L. (1993). 30/30: Prototype de l'entraînement intermittent en demi-fond. *Revue de l'AEFA*, 130, 19-23.
- [120] Gaitanos, G. C., Williams, C., Boobis, L. H., & Brooks, S. (1993). Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 75(2), 712-719. <https://doi.org/10.1152/jappl.1993.75.2.712>.
- [121] Gallais, D. L., & Millet, G. (2007). *La préparation physique: Optimisation et limites de la performance sportive*. Elsevier Masson.
- [122] García-Pinillos, F., Molina-Molina, A., & Latorre-Román, P. Á. (2016). Impact of an incremental running test on jumping kinematics in endurance runners: Can jumping kinematic explain the post-activation potentiation phenomenon? *Sports Biomechanics*, 15(2), 103-115. <https://doi.org/10.1080/14763141.2016.1158860>.

- [123] García-Pinillos, F., Soto-Hermoso, V. M., & Latorre-Román, P. A. (2017). How does high-intensity intermittent training affect recreational endurance runners? Acute and chronic adaptations: A systematic review. *Journal of Sport and Health Science*, 6(1), 54-67. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2016.08.010>.
- [124] Gerbino, A., Ward, S. A., & Whipp, B. J. (1996). Effects of prior exercise on pulmonary gas-exchange kinetics during high-intensity exercise in humans. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 80(1), 99-107. <https://doi.org/10.1152/jappl.1996.80.1.99>.
- [125] Glaister, M. (2005). Multiple sprint work: Physiological responses, mechanisms of fatigue and the influence of aerobic fitness. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 35(9), 757-777. <https://doi.org/10.2165/00007256-200535090-00003>.
- [126] Gliemann, L., Gunnarsson, T. P., Hellsten, Y., & Bangsbo, J. (2015). 10-20-30 training increases performance and lowers blood pressure and VEGF in runners. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 25(5), e479-489. <https://doi.org/10.1111/sms.12356>.
- [127] Gorostiaga, E. M., Walter, C. B., Foster, C., & Hickson, R. C. (1991). Uniqueness of interval and continuous training at the same maintained exercise intensity. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 63(2), 101-107. <https://doi.org/10.1007/BF00235177>.
- [128] Grant, S., Craig, I., Wilson, J., & Aitchison, T. (1997). The relationship between 3 km running performance and selected physiological variables. *Journal of Sports Sciences*, 15(4), 403-410. <https://doi.org/10.1080/026404197367191>.
- [129] Grgic, J., Oppici, L., Mikulic, P., Bangsbo, J., Krustrup, P., & Pedisic, Z. (2019). Test-Retest Reliability of the Yo-Yo Test: A Systematic Review. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 49(10), 1547-1557. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01143-4>.
- [130] **H**awley, J. A., & Noakes, T. D. (1992). Peak power output predicts maximal oxygen uptake and performance time in trained cyclists. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 65(1), 79-83. <https://doi.org/10.1007/BF01466278>.

- [131] Heck, H., Mader, A., Hess, G., Mücke, S., Müller, R., & Hollmann, W. (1985). Justification of the 4-mmol/l lactate threshold. *International Journal of Sports Medicine*, 6(3), 117-130. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1025824>.
- [132] Hill, A. V., & Lupton, H. (1923). Muscular Exercise, Lactic Acid, and the Supply and Utilization of Oxygen. *QJM: An International Journal of Medicine*, os-16(62), 135-171. <https://doi.org/10.1093/qjmed/os-16.62.135>.
- [133] Hill, D. W., & Rowell, A. L. (1996). Running velocity at VO<sub>2</sub>max. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28(1), 114-119. <https://doi.org/10.1097/00005768-199601000-00022>.
- [134] Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(1), 3-13. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31818cb278>.
- [135] Hosmer, Jr., Lemeshow, S., & Sturdivant, R. X. (2013). *Applied Logistic Regression*. John Wiley & Sons.
- [136] Howley, E. T., Bassett, D. R., & Welch, H. G. (1995). Criteria for maximal oxygen uptake: Review and commentary. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27(9), 1292-1301.
- [137] Laiche, R., Toraa, M., & Friemel, F. (1996). Évaluation de VO<sub>2</sub> max et de VMA, en laboratoire et sur le terrain. *Science & Sports*, 11(2), 91-95. [https://doi.org/10.1016/0765-1597\(96\)88155-X](https://doi.org/10.1016/0765-1597(96)88155-X).
- [138] Impellizzeri, F. M., & Marcora, S. M. (2009). Test validation in sport physiology: Lessons learned from clinimetrics. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 4(2), 269-277. <https://doi.org/10.1123/ijsp.4.2.269>.
- [139] Ingham, S. A., Whyte, G. P., Pedlar, C., Bailey, D. M., Dunman, N., & Nevill, A. M. (2008). Determinants of 800-m and 1500-m running performance using allometric models. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40(2), 345-350. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31815a83dc>.



- [140] **J**eandupeux, D. (1997). *Les sorciers du foot : Les secrets des grands entraîneurs*. Ed. du Rocher.
- [141] Johan Marcus Svensson (2007). The Development of a Soccer-Specific High-Intensity Intermittent Running Protocol. Thesis, Liverpool John Moores University, Angleterre.
- [142] Jones, A. M. (2006). The Physiology of the World Record Holder for the Women's Marathon. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 1(2), 101-116. <https://doi.org/10.1260/174795406777641258>.
- [143] Jousselin, E., Desnus, B., Fraisse, F., Handschuh, R., Legros, P., Strady, M., & Thomaïdis, M. (1990). La consommation maximale d'oxygène des équipes nationales françaises de 1979 à 1988 (sportifs de plus de 20 ans). *Science & Sports*, 5(1), 39-45. [https://doi.org/10.1016/S0765-1597\(05\)80244-8](https://doi.org/10.1016/S0765-1597(05)80244-8).
- [144] **K**achouri, M., Vandewalle, H., Billat, V., Huet, M., Thomaïdis, M., Jousselin, E., & Monod, H. (1996). Critical velocity of continuous and intermittent running exercise. An example of the limits of the critical power concept. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 73(5), 484-487. <https://doi.org/10.1007/BF00334428>.
- [145] Kachouri, M., Vandewalle, H., Huet, M., Thomaïdis, M., Jousselin, E., & Monod, H. (1996). Is the exhaustion time at maximal aerobic speed an index of aerobic endurance? *Archives of Physiology and Biochemistry*, 104(3), 330-336. <https://doi.org/10.1076/apab.104.3.330.12901>.
- [146] Kenney, W. L., & Hodgson, J. L. (1985). Variables predictive of performance in elite middle-distance runners. *British Journal of Sports Medicine*, 19(4), 207-209.
- [147] Klentrou, Panag. P., & MoNTPETIT, R. R. (1991). Physiologic and physical correlates of swimming performance. *Journal of Swimming Research*, 7(1), 13-18.
- [148] Krustrup, P., Mohr, M., Amstrup, T., Rysgaard, T., Johansen, J., Steensberg, A., Pedersen, P. K., & Bangsbo, J. (2003). The yo-yo intermittent recovery test :

- Physiological response, reliability, and validity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(4), 697-705. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000058441.94520.32>.
- [149] Kumagai, S., Tanaka, K., Matsuura, Y., Matsuzaka, A., Hirakoba, K., & Asano, K. (1982). Relationships of the anaerobic threshold with the 5 km, 10 km, and 10 mile races. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 49(1), 13-23. <https://doi.org/10.1007/BF00428959>.
- [150] **L**acour, J. R., & Candau, R. (1990). Vitesse maximale aérobie et performance en course à pied. *Science & Sports*, 5(4), 183-189. [https://doi.org/10.1016/S0765-1597\(05\)80216-3](https://doi.org/10.1016/S0765-1597(05)80216-3).
- [151] Lacour, J. R., Montmayeur, A., Dormois, D., Gacon, G., Padilla, S., & Viale, C. (1989). Validation de l'épreuve de mesure de la vitesse maximale aérobie (VMA) dans un groupe de coureurs de haut niveau. *Sci Motricité*, 7, 3-8.
- [152] Lacour, J. R., Padilla-Magunacelaya, S., Barthélémy, J. C., & Dormois, D. (1990). The energetics of middle-distance running. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 60(1), 38-43. <https://doi.org/10.1007/BF00572183>.
- [153] Lacour, J. R., Padilla-Magunacelaya, S., Chatard, J. C., Arsac, L., & Barthélémy, J. C. (1991). Assessment of running velocity at maximal oxygen uptake. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 62(2), 77-82. <https://doi.org/10.1007/BF00626760>.
- [154] Lanferdini, F. J., Silva, E. S., Machado, E., Fischer, G., & Peyré-Tartaruga, L. A. (2020). Physiological Predictors of Maximal Incremental Running Performance. *Frontiers in Physiology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00979>.
- [155] Larsen, H. B., & Sheel, A. W. (2015). The Kenyan runners. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 25 Suppl 4, 110-118. <https://doi.org/10.1111/sms.12573>.
- [156] Laursen, P. B. (2010). Training for intense exercise performance : High-intensity or high-volume training? *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20 Suppl 2, 1-10. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01184.x>.

- [157] Laursen, P. B., Blanchard, M. A., & Jenkins, D. G. (2002). Acute high-intensity interval training improves Tvent and peak power output in highly trained males. *Canadian Journal of Applied Physiology = Revue Canadienne De Physiologie Appliquee*, 27(4), 336-348. <https://doi.org/10.1139/h02-019>.
- [158] Laursen, P. B., & Jenkins, D. G. (2002). The scientific basis for high-intensity interval training : Optimising training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 32(1), 53-73. <https://doi.org/10.2165/00007256-200232010-00003>.
- [159] Laursen, P. B., Shing, C. M., Peake, J. M., Coombes, J. S., & Jenkins, D. G. (2002). Interval training program optimization in highly trained endurance cyclists. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(11), 1801-1807. <https://doi.org/10.1097/00005768-200211000-00017>.
- [160] Lavoie, J. M., Leger, L. A., Leone, M., & Provencher, P. J. (1985). A maximal multistage swim test to determine the functional and maximal aerobic power of competitive swimmers. *J Swim Res*, 1, 17-22.
- [161] Léger, L. A., & Lambert, J. (1982). A maximal multistage 20-m shuttle run test to predict VO<sub>2</sub> max. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 49(1), 1-12. <https://doi.org/10.1007/BF00428958>.
- [162] 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.
- [163] Léger, L., Cazorla, G., Petibois, C., & Bosquet, L. (2001). Lactate et exercice : Mythes et réalités. *Staps*, no 54(1), 63-76.
- [164] Leger, L., Cazorla, G (2006). La capacité aérobie. Son évaluation et son développement chez l'enfant et chez l'adolescent. *Cestas: AREAPS*, 1-29.
- [165] Léger, L., Lambert, J., Goulet, A., Rowan, C., & Dinelle, Y. (1984). Capacité aérobie des Québécois de 6 à 17 ans—Test navette de 20 mètres avec paliers de 1 minute. *Canadian journal of applied sport sciences. Journal canadien des sciences appliquées au sport*, 9(2), 64-69.

- [166] Léger, L., & Mercier, D. (1983). Coût énergétique de la course sur tapis roulant et sur piste. *Motricité humaine*, 2, 66-69.
- [167] Léger, L., Mercier, D., & Gauvin, L. (1986). The relationship between % VO<sub>2</sub>max and running performance time. *Sport and elite performers. Champaign, IL: Human Kinetics*, 113-120.
- [168] Leroux, P. (2006). *Football, planification et entraînement*. Editions Amphora.
- [169] Leti, T., Mendelson, M., Laplaud, D., & Flore, P. (2012). Prediction of maximal lactate steady state in runners with an incremental test on the field. *Journal of Sports Sciences*, 30(6), 609-616. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.660187>.
- [170] Londeree, B. R. (1997). Effect of training on lactate/ventilatory thresholds : A meta-analysis. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29(6), 837-843. <https://doi.org/10.1097/00005768-199706000-00016>.
- [171] Los Arcos, A., Vázquez, J. S., Villagra, F., Martín, J., Lerga, J., Sánchez, F., Bertó, J., & Zulueta, J. J. (2019). Assessment of the maximal aerobic speed in young elite soccer players : Université de Montréal Track Test (UM-TT) vs. treadmill test. *Science & Sports*, 34(4), 267-271. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2019.03.010>.
- [172] Maćkała, K., Fostiak, M., & Kowalski, K. (2015). Selected Determinants of Acceleration in the 100m Sprint. *Journal of Human Kinetics*, 45(1), 135-148. <https://doi.org/10.1515/hukin-2015-0014>.
- [173] MacRae, H. S., Dennis, S. C., Bosch, A. N., & Noakes, T. D. (1992). Effects of training on lactate production and removal during progressive exercise in humans. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 72(5), 1649-1656. <https://doi.org/10.1152/jappl.1992.72.5.1649>.
- [174] Maffulli, N., Testa, V., Lancia, A., Capasso, G., & Lombardi, S. (1991). Indices of sustained aerobic power in young middle distance runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23(9), 1090-1096.

- [175] Mahon, A. D., Del Corral, P., Howe, C. A., Duncan, G. E., & Ray, M. L. (1996). Physiological correlates of 3-kilometer running performance in male children. *International Journal of Sports Medicine*, *17*(8), 580-584. <https://doi.org/10.1055/s-2007-972898>.
- [176] Manouvrier, C., Cassirame, J., & Ahmaidi, S. (2016). Proposal for a Specific Aerobic Test for Football Players : The “Footeval”. *Journal of Sports Science & Medicine*, *15*(4), 670-677.
- [177] McLaughlin, J. E., Howley, E. T., Bassett, D. R., Thompson, D. L., & Fitzhugh, E. C. (2010). Test of the classic model for predicting endurance running performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *42*(5), 991-997. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181c0669d>.
- [178] McMiken, D. F., & Daniels, J. T. (1976). Aerobic requirements and maximum aerobic power in treadmill and track running. *Medicine and Science in Sports*, *8*(1), 14-17.
- [179] Mekari, S., Earle, M., Martins, R., Drisdelle, S., Killen, M., Bouffard-Levasseur, V., & Dupuy, O. (2020). Effect of High Intensity Interval Training Compared to Continuous Training on Cognitive Performance in Young Healthy Adults : A Pilot Study. *Brain Sciences*, *10*(2), E81. <https://doi.org/10.3390/brainsci10020081>.
- [180] Melin, B., Jimenez, C., Charpenet, A., Pouzeratte, N., & Bittel, J. (1996). Validation de deux tests de détermination de la vitesse maximale aérobie (VMA) sur le terrain. *Science & Sports*, *11*(1), 46-52. [https://doi.org/10.1016/0765-1597\(96\)81288-3](https://doi.org/10.1016/0765-1597(96)81288-3).
- [181] Menaspà, P., Sassi, A., & Impellizzeri, F. M. (2010). Aerobic fitness variables do not predict the professional career of young cyclists. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *42*(4), 805-812. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181ba99bc>.
- [182] Meyer, T., Lucía, A., Earnest, C. P., & Kindermann, W. (2005). A conceptual framework for performance diagnosis and training prescription from submaximal gas exchange parameters—Theory and application. *International Journal of Sports Medicine*, *26 Suppl 1*, S38-48. <https://doi.org/10.1055/s-2004-830514>.
- [183] Midgley, A. W., & Mc Naughton, L. R. (2006). Time at or near VO<sub>2</sub>max during continuous and intermittent running. A review with special reference to considerations

- for the optimisation of training protocols to elicit the longest time at or near VO<sub>2</sub>max. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 46(1), 1-14.
- [184] Miladi, I., Temfemo, A., Mandengué, S. H., & Ahmaidi, S. (2011). Effect of recovery mode on exercise time to exhaustion, cardiorespiratory responses, and blood lactate after prior, intermittent supramaximal exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(1), 205-210. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181af5152>.
- [185] Millet, G. P., Libicz, S., Borrani, F., Fattori, P., Bignet, F., & Candau, R. (2003). Effects of increased intensity of intermittent training in runners with differing VO<sub>2</sub> kinetics. *European Journal of Applied Physiology*, 90(1-2), 50-57. <https://doi.org/10.1007/s00421-003-0844-0>.
- [186] Montmayeur, A., & Villaret, M. (1990). Etude de la vitesse maximale aérobie derriere cycliste. *Sci Motricité*, 10, 27-31.
- [187] Morgan, D. W., Baldini, F. D., Martin, P. E., & Kohrt, W. M. (1989). Ten kilometer performance and predicted velocity at VO<sub>2</sub>max among well-trained male runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 21(1), 78-83. <https://doi.org/10.1249/00005768-198902000-00014>.
- [188] Morgan, D. W., Bransford, D. R., Costill, D. L., Daniels, J. T., Howley, E. T., & Krahenbuhl, G. S. (1995). Variation in the aerobic demand of running among trained and untrained subjects. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27(3), 404-409.
- [189] Morgan, D. W., Martin, P. E., & Krahenbuhl, G. S. (1989). Factors affecting running economy. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 7(5), 310-330. <https://doi.org/10.2165/00007256-198907050-00003>.
- [190] Nes, B. M., Janszky, I., Wisløff, U., Støylen, A., & Karlsen, T. (2013). Age-predicted maximal heart rate in healthy subjects: The HUNT fitness study. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 23(6), 697-704. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2012.01445.x>.
- [191] Nevill, A. M., Brown, D., Godfrey, R., Johnson, P., Romer, L., Stewart, A. D., & Winter, E. M. (2003). Modeling maximum oxygen uptake of elite endurance athletes.

- Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(3), 488-494.  
<https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000053728.12929.5D>.
- [192] Noakes, T. (2003). *Lore of Running*. Human Kinetics.
- [193] Noakes, T. D., Myburgh, K. H., & Schall, R. (1990). Peak treadmill running velocity during the VO<sub>2</sub> max test predicts running performance. *Journal of Sports Sciences*, 8(1), 35-45. <https://doi.org/10.1080/02640419008732129>.
- [194] Oliveira, B. R. R., Santos, T. M., Kilpatrick, M., Pires, F. O., & Deslandes, A. C. (2018). Affective and enjoyment responses in high intensity interval training and continuous training: A systematic review and meta-analysis. *PloS One*, 13(6), e0197124. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0197124>.
- [195] Padilla, S., Bourdin, M., Barthélémy, J. C., & Lacour, J. R. (1992). Physiological correlates of middle-distance running performance. A comparative study between men and women. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 65(6), 561-566. <https://doi.org/10.1007/BF00602366>.
- [196] Pallarés, J. G., Cerezuela-Espejo, V., Morán-Navarro, R., Martínez-Cava, A., Conesa, E., & Courel-Ibáñez, J. (2019). A New Short Track Test to Estimate the V[Combining Dot Above]O<sub>2</sub>max and Maximal Aerobic Speed in Well-Trained Runners. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(5), 1216-1221. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000003121>.
- [197] Paradisis, G. P., Zacharogiannis, E., Mandila, D., Smirtiotou, A., Argeitaki, P., & Cooke, C. B. (2014). Multi-Stage 20-m Shuttle Run Fitness Test, Maximal Oxygen Uptake and Velocity at Maximal Oxygen Uptake. *Journal of Human Kinetics*, 41, 81-87. <https://doi.org/10.2478/hukin-2014-0035>.
- [198] Peinado, P. J. B., Di Salvo, V., Pigozzi, F., Bermúdez, A. I. P., Peinado Lozano, A. B., Calderón Montero, F. J., & Maffulli, N. (2006). Steady-state acid-base response at exercise levels close to maximum lactate steady state. *Clinical Journal of Sport Medicine: Official Journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, 16(3), 244-246. <https://doi.org/10.1097/00042752-200605000-00010>.

- [199] Péronnet, F., & Thibault, G. (1987). Analyse physiologique de la performance en course à pied : Révision du modèle hyperbolique. *J Physiol (Paris)*, 82, 52-60.
- [200] Petibois, C., Cazorla, G., & Léger, L. (2001). Les analyses métaboliques dans le contrôle biologique de l'entraînement. *Staps*, no 54(1), 77-88.
- [201] Platonov, V. N. (1987). *L'adaptation des sportifs aux charges d'entraînement et de compétition*. Ed. Revue E.P.S.
- [202] Ploutz-Snyder, L. L., & Giamis, E. L. (2001). Orientation and familiarization to 1RM strength testing in old and young women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 15(4), 519-523.
- [203] Poole, D. C., Rossiter, H. B., Brooks, G. A., & Gladden, L. B. (2021). The anaerobic threshold: 50+ years of controversy. *The Journal of Physiology*, 599(3), 737-767. <https://doi.org/10.1113/JP279963>.
- [204] Poortmans, J., & Boisseau, N. (2017). *Biochimie des activités physiques et sportives*. De Boeck Supérieur.
- [205] Powers, S. K., Dodd, S., Deason, R., Byrd, R., & Mcknight, T. (1983). Ventilatory Threshold, Running Economy and Distance Running Performance of Trained Athletes. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 54(2), 179-182. <https://doi.org/10.1080/02701367.1983.10605291>.
- [206] Praagh, E. V. (2007). *Physiologie du sport : Enfant et adolescent*. De Boeck Supérieur.
- [207] Praagh, E. V., Doré, E., Duché, P., & Hautier, C. (2001). La puissance maximale aérobie de l'enfant (de 1938 à nos jours). *Staps*, no 54(1), 89-108.
- [208] Pradet, M. (1997). *La Préparation physique*. INSEP éditions.
- [209] Prévost, P., & Reiss, D. (2019). *La bible de la préparation physique : Le guide scientifique et pratique pour tous*. Amphora.
- [210] **Q**uinart, S. (2013). *Validation d'outils adaptés pour l'évaluation de l'endurance cardiorespiratoire chez l'adolescent obèse*.



- [211] **R**abadán, M., Díaz, V., Calderón, F. J., Benito, P. J., Peinado, A. B., & Maffulli, N. (2011). Physiological determinants of speciality of elite middle- and long-distance runners. *Journal of Sports Sciences*, 29(9), 975-982. <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.571271>.
- [212] Ramsbottom, R., Williams, C., Kerwin, D. G., & Nute, M. L. (1992). Physiological and metabolic responses of men and women to a 5-km treadmill time trial. *Journal of Sports Sciences*, 10(2), 119-129. <https://doi.org/10.1080/02640419208729914>.
- [213] Reiss, D., & Prévost, P. (2013). *La bible de la préparation physique: Le guide scientifique et pratique pour tous*. Amphora.
- [214] Rey, O., Rossi, D., Nicol, C., Mercier, C.-S., Vallier, J.-M., & Maiano, C. (2013). Évaluation indirecte de la capacité aérobie d'adolescents obèses : Intérêt d'un test de course à pied intermittent court, progressif et maximal. *Science & Sports*, 28(5), e133-e139. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2013.02.006>.
- [215] Rieu, M. (1986). Lactatémie et exercice musculaire. Signification et analyse critique du concept de "seuil aérobie-anaérobie". *Science & Sports*, 1(1), 1-23. [https://doi.org/10.1016/S0765-1597\(86\)80070-3](https://doi.org/10.1016/S0765-1597(86)80070-3).
- [216] Robinson, D. M., Robinson, S. M., Hume, P. A., & Hopkins, W. G. (1991). Training intensity of elite male distance runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23(9), 1078-1082.
- [217] Rochcongar, P., & Monod, H. (2009). *Médecine du sport*. Elsevier Masson.
- [218] Rodríguez-Marroyo, J. A., Medina-Carrillo, J., García-López, J., Morante, J. C., Villa, J. G., & Foster, C. (2017). Validity, Reliability, and Sensitivity of a Volleyball Intermittent Endurance Test. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(3), 364-369. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0185>.
- [219] **S**aunders, P. U., Cox, A. J., Hopkins, W. G., & Pyne, D. B. (2010). Physiological measures tracking seasonal changes in peak running speed. *International Journal of*

- Sports Physiology and Performance*, 5(2), 230-238.  
<https://doi.org/10.1123/ijsp.5.2.230>.
- [220] Schaun, G. Z., Pinto, S. S., Silva, M. R., Dolinski, D. B., & Alberton, C. L. (2018). Whole-Body High-Intensity Interval Training Induce Similar Cardiorespiratory Adaptations Compared With Traditional High-Intensity Interval Training and Moderate-Intensity Continuous Training in Healthy Men. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(10), 2730-2742.  
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002594>.
- [221] Schnitzler, C., Heck, G., Chatard, J.-C., & Ernwein, V. (2010). A simple field test to assess endurance in inexperienced runners. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(8), 2026-2031. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181d2c48d>.
- [222] Scott, B. K., & Houmard, J. A. (1994). Peak running velocity is highly related to distance running performance. *International Journal of Sports Medicine*, 15(8), 504-507. <https://doi.org/10.1055/s-2007-1021095>.
- [223] Scrimgeour, A. G., Noakes, T. D., Adams, B., & Myburgh, K. (1986). The influence of weekly training distance on fractional utilization of maximum aerobic capacity in marathon and ultramarathon runners. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 55(2), 202-209. <https://doi.org/10.1007/BF00715006>.
- [224] Selmi, M. A., Elloumi, M., Hambli, M., Sellami, M., Haj Yahmed, M., & Haj Sassi, R. (2016). Reproductibilité, validité et sensibilité d'un test de répétition de sprints chez des jeunes footballeurs. *Science & Sports*, 31(5), e139-e146.  
<https://doi.org/10.1016/j.scispo.2016.05.001>.
- [225] Shrout, P. E., & Fleiss, J. L. (1979). Intraclass correlations : Uses in assessing rater reliability. *Psychological Bulletin*, 86(2), 420-428. <https://doi.org/10.1037//0033-2909.86.2.420>.
- [226] Signorile, J. F., Ingalls, C., & Tremblay, L. M. (1993). The effects of active and passive recovery on short-term, high intensity power output. *Canadian Journal of Applied Physiology = Revue Canadienne De Physiologie Appliquée*, 18(1), 31-42.  
<https://doi.org/10.1139/h93-004>.

- [227] Sjödin, B., & Jacobs, I. (1981). Onset of blood lactate accumulation and marathon running performance. *International Journal of Sports Medicine*, 2(1), 23-26. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1034579>.
- [228] Sloth, M., Sloth, D., Overgaard, K., & Dalgas, U. (2013). Effects of sprint interval training on VO<sub>2</sub>max and aerobic exercise performance: A systematic review and meta-analysis. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 23(6), e341-352. <https://doi.org/10.1111/sms.12092>.
- [229] Smail, A. (2009). *Manuel d'entraînement de l'athlète confirmé*. CONFESJES.
- [230] Soares-Caldeira, L. F., Ritti-Dias, R. M., Okuno, N. M., Cyrino, E. S., Gurjão, A. L. D., & Ploutz-Snyder, L. L. (2009). Familiarization indexes in sessions of 1-RM tests in adult women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(7), 2039-2045. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181b3e158>.
- [231] Sordello, J. (2019). *La Bible du running : Le guide scientifique et pratique pour tous*. Amphora.
- [232] Stegmann, H., Kindermann, W., & Schnabel, A. (1981). Lactate kinetics and individual anaerobic threshold. *International Journal of Sports Medicine*, 2(3), 160-165. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1034604>.
- [233] Svedahl, K., & MacIntosh, B. (2003). Anaerobic threshold: The concept and methods of measurement. *Canadian journal of applied physiology = Revue canadienne de physiologie appliquée*. <https://doi.org/10.1139/H03-023>.
- [234] Svedenhag, J., & Sjödin, B. (1985). Physiological characteristics of elite male runners in and off-season. *Canadian Journal of Applied Sport Sciences. Journal Canadien Des Sciences Appliquées Au Sport*, 10(3), 127-133.
- [235] Swaddling, J. (1999). *The Ancient Olympic Games*. University of Texas Press.
- [236] **T**abata, 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 VO<sub>2</sub>max. *Medicine and Science in*

- Sports and Exercise*, 28(10), 1327-1330. <https://doi.org/10.1097/00005768-199610000-00018>.
- [237] Tanaka, K., & Matsuura, Y. (1984). Marathon performance, anaerobic threshold, and onset of blood lactate accumulation. *Journal of Applied Physiology: Respiratory, Environmental and Exercise Physiology*, 57(3), 640-643. <https://doi.org/10.1152/jappl.1984.57.3.640>.
- [238] Tawa, N., & Louw, Q. (2018). Biomechanical factors associated with running economy and performance of elite Kenyan distance runners : A systematic review. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 22(1), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2017.11.004>.
- [239] Teixeira, A. S., da Silva, J. F., Carminatti, L. J., Dittrich, N., Castagna, C., & Guglielmo, L. G. A. (2014). Reliability and validity of the Carminatti's test for aerobic fitness in youth soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(11), 3264-3273. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000534>.
- [240] Temfemo, A., Bishop, D., Merzouk, A., Gayda, M., & Ahmaïdi, S. (2006). Effects of prior exercise on force-velocity test performance and quadriceps EMG. *International Journal of Sports Medicine*, 27(3), 212-219. <https://doi.org/10.1055/s-2005-865624>.
- [241] Temple, C. (1992). *Middle Distance Running : Training and Competition*. Stanley Paul.
- [242] Thevenet, D., Tardieu, M., Zouhal, H., Jacob, C., Abderrahman, B. A., & Prioux, J. (2007). Influence of exercise intensity on time spent at high percentage of maximal oxygen uptake during an intermittent session in young endurance-trained athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 102(1), 19-26. <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0540-6>.
- [243] Thibault, G. (2002). Un modèle pratique d'entraînement intermittent. *Cahiers de l'INSEP*, 33(1), 61-74. <https://doi.org/10.3406/insep.2002.1686>.
- [244] Thibault, G. (2009). *Entraînement cardio : Sports d'endurance et performance*. Vélo Québec éditions.

- [245] Tomlin, D. L., & Wenger, H. A. (2001). The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 31(1), 1-11. <https://doi.org/10.2165/00007256-200131010-00001>.
- [246] Toubekis, A. G., Douda, H. T., & Tokmakidis, S. P. (2005). Influence of different rest intervals during active or passive recovery on repeated sprint swimming performance. *European Journal of Applied Physiology*, 93(5-6), 694-700. <https://doi.org/10.1007/s00421-004-1244-9>.
- [247] Tschakert, G., & Hofmann, P. (2013). High-intensity intermittent exercise : Methodological and physiological aspects. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(6), 600-610. <https://doi.org/10.1123/ijsp.8.6.600>.
- [248] Volkov, N. I., Shirkovets, E. A., & Borilkevich, V. E. (1975). Assessment of aerobic and anaerobic capacity of athletes in treadmill running tests. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 34(2), 121-130. <https://doi.org/10.1007/BF00999924>.
- [249] Vuorimaa, T., Ahotupa, M., Häkkinen, K., & Vasankari, T. (2008). Different hormonal response to continuous and intermittent exercise in middle-distance and marathon runners. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 18(5), 565-572. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2007.00733.x>.
- [250] Weineck, J. (1997). *Manuel d'entraînement : Physiologie de la performance sportive et de son développement dans l'entraînement de l'enfant et de l'adolescent*. Vigot.
- [251] Wilber, R. L., & Pitsiladis, Y. P. (2012). Kenyan and Ethiopian distance runners : What makes them so good? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 7(2), 92-102. <https://doi.org/10.1123/ijsp.7.2.92>.
- [252] Williams, K. R., & Cavanagh, P. R. (1987). Relationship between distance running mechanics, running economy, and performance. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 63(3), 1236-1245. <https://doi.org/10.1152/jappl.1987.63.3.1236>.

- [253] Wilson, G. J., & Murphy, A. J. (1996). The use of isometric tests of muscular function in athletic assessment. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 22(1), 19-37. <https://doi.org/10.2165/00007256-199622010-00003>.
- [254] Yoshida, T., Udo, M., Iwai, K., Chida, M., Ichioka, M., Nakadomo, F., & Yamaguchi, T. (1990). Significance of the contribution of aerobic and anaerobic components to several distance running performances in female athletes. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 60(4), 249-253. <https://doi.org/10.1007/BF00379391>.
- [255] Yoshida, T., & Watari, H. (1997). Effect of circulatory occlusion on human muscle metabolism during exercise and recovery. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 75(3), 200-205. <https://doi.org/10.1007/s004210050148>.
- [256] Zacharogiannis, E., & Farrally, M. (1993). Ventilatory threshold, heart rate deflection point and middle distance running performance. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 33(4), 337-347.
- [257] Zafeiridis, A., Sarivasiliou, H., Dipla, K., & Vrabas, I. S. (2010). The effects of heavy continuous versus long and short intermittent aerobic exercise protocols on oxygen consumption, heart rate, and lactate responses in adolescents. *European Journal of Applied Physiology*, 110(1), 17-26. <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1467-x>.
- [258] Zakaria Labsy (2002). Méthode indirect de détermination de la vitesse maximale aérobie sur e terrain par un test spécifique au football. Thèse de Doctorat, université Pris 11, France.
- [259] Zhang, X., Dube, T. J., & Esser, K. A. (2009). Working around the clock : Circadian rhythms and skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 107(5), 1647-1654. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00725.2009>.

# **ANNEXES**

**ANNEXE 1: ARTICLES SCIENTIFIQUES**

**ANNEXE 2: RESULTATS DES TESTS**

**ANNEXE 3: ILS TEMOIGNENT**

**ANNEXE 4: RESUME**



**Proposition d'un test d'effort intermittent pour déterminer la vitesse maximale aérobie (80/20<sub>VMA</sub>)**

**Proposal for an intermittent exercise test to determine maximum aerobic speed (80/20<sub>MAS</sub>)**

Saddek Benhammou<sup>1</sup>, Moulay Idriss Mokkedes<sup>2</sup>, Laurent Mourot<sup>3</sup>, Ali Bengoua<sup>4</sup>,

<sup>1</sup>IEPS Mostaganem, Email: saddek.benhammou@uinv-mosta.dz

<sup>2</sup>IEPS Mostaganem, Email: mi\_mokkedes@hotmail.fr

<sup>3</sup>Marqueurs pronostiques et facteurs de régulation des pathologies EA3920, Université Bourgogne Franche-Comté, France, Email: laurent.mourot@univ-fcomte.fr

<sup>4</sup>IEPS Mostaganem, Email: ali.bengoua@univ-mosta.dz

**INFORMATION SUR L'ARTICLE**

Reçu le :29/08/2019

Accepté le :31/10/2019

Publié le :01/12/2019

**Mots clés:**

Vitesse maximale aérobie  
Test de l'université de Montréal  
Évaluation  
Étude comparative

Auteur correspondant:

**Benhammou Saddek**

Email :  
saddek.benhammou@uinv-mosta.dz

**Keywords:**

Maximal aerobic speed  
University of Montreal Track test  
Assessment  
Comparative study

**Résumé:**

L'objectif était de comparer 2 tests d'évaluation de la VMA: test de la présente étude appelé 80/20<sub>VMA</sub> vs test sur piste de l'université de Montréal (UMTT) en terme de VMA, la fréquence cardiaque (FC), et de lactatémie (LA). Les résultats de 80/20<sub>VMA</sub> et UMTT réalisés à 72 heures d'intervalle ont été comparés chez 17 athlètes. Les valeurs moyennes de VMA calculées lors du 80/20<sub>VMA</sub> et UMTT étaient significativement différentes ( $18.7 \text{ km.h}^{-1} \pm 1.2$ ,  $17.3 \text{ km.h}^{-1} \pm 1.3$ , respectivement), malgré un fort coefficient de corrélation ( $r = 0.93$ ;  $CV = 6.8\%$ ;  $p < 0,05$ ). Aucune différence significative de FCmax et LA n'a été observée entre les deux tests. Le 80/20<sub>VMA</sub> que nous proposons permet d'obtenir une FCmax et LA comparable à un test classique tel que UMTT. Cependant, les résultats soulignent que 80/20<sub>VMA</sub> surestime la VMA.

**Abstract**

The purpose was to compare 2 tests for assessing the MAS: 80/20<sub>MAS</sub> test vs University of Montreal Track test (UMTT) in terms of MAS, heart rate (HR), and Lactatemia (LA). The results of 80/20<sub>MAS</sub> and UMTT realized in 72 hours apart were compared in 17 athletes. The mean values of MAS calculated for using 80/20<sub>MAS</sub> and UMTT were significantly different ( $18.7 \text{ km.h}^{-1} \pm 1.2$ ,  $17.3 \text{ km.h}^{-1} \pm 1.3$ , respectively), despite a strong correlation coefficient. No significant differences of HR and LA were found between the two Tests. The 80/20<sub>MAS</sub> that we propose allows obtaining an FCmax and LA comparable to a conventional test such as UMTT. However, the results underscore that 80/20<sub>MAS</sub> overestimates MAS.





Saddek Benhammou, Moulay Idriss Mokkedes,  
Laurent Mourrot, Ali Bengoua

## 1- Introduction

De nombreuses épreuves d'évaluation de la vitesse maximale aérobie (VMA) ont été mise au point par les scientifiques du sport. Ces épreuves sont de réalisation plus ou moins complexe, certaines demandant un matériel relativement lourd, d'autres sollicitant moins de moyens et pouvant être programmées sur le terrain. Quelques études ont démontré que la VMA est un excellent indicateur de la performance réalisée en course de demi-fond et de fond (Lacour & Candau, 1990; Lacour, Padilla, Barthélémy, & Dormois, 1990; Noakes, Myburgh, & Schall, 1990; Padilla, Bourdin, Barthélémy, & Lacour, 1992; Almarwaey, Jones, & Tolfrey, 2003; Hauswirth, Bieuzen, Argentin, Levêque, & Patou, 2004), et qu'elle était aussi utile pour contrôler les allures de course et déterminer l'intensité d'entraînement idéale (Lacour et al., 1989; Ahmaidi, Collomp, Caillaud, & Préfaut, 1992; Berthoin, Gerbeaux, Guerrin, Lensele, & Vandendorpe, 1992; Smith, Naughton, & Marshall, 1999; Billat et al., 2000; Laursen & Jenkins, 2002). La VMA a été déterminée dans plusieurs études (Briggs, 1977; Léger & Boucher, 1980; Péronnet, Thibault, Rhodes, & McKenzie, 1987; Camus, Juchnes, Thys, & Fossion, 1988), elle est définie comme étant la vitesse minimale qui sollicite la consommation maximale d'oxygène (Di Prampero, Atchou, Bruckner, & Moia, 1986; Péronnet & Thibault, 1987; Lacour, Padilla, Chatard, Arzac, & Barthélémy, 1991; Billat & Koralsztein, 1996; Billat, 1998; Demarle et al., 2001; Billat, Berthoin, Blondel, & Gerbeaux, 2001).

Les tests de VMA sont régulièrement effectués par les athlètes au cours des différents cycles d'entraînement afin de prescrire les charges d'entraînement (Gore, 2000). Les tests en laboratoire peuvent être utilisés dans ce contexte, mais ce genre de tests est coûteux et ne permet la mesure qu'un seul sportif à la fois, et finalement en pratique d'entraînement cela pose des limites (Berthoin et al., 1994). Les évaluations de terrain ont une meilleure validité externe, et sont considérées comme plus pratiques (Bellenger et al., 2015). C'est pour cette raison que le réalisme amène les entraîneurs à opter pour les tests de terrain.

Un certain nombre d'études ont abordé le sujet de comparaison des tests de VMA (Ahmaidi et al., 1992; Berthoin et al., 1994; Berthoin, Pelayo, Lensele, Robin, & Gerbeaux, 1996; Garcia, Secchi, & Cappa, 2013). Dans ce contexte, notre étude est basée sur l'analyse et la comparaison d'un nouveau test de détermination de la VMA appelé  $80/20_{VMA}$  par rapport à un test triangulaire le plus fréquemment utilisé: Test sur Piste de l'Université de



## Proposition d'un test d'effort intermittent pour déterminer la vitesse maximale aérobie ( $80/20_{VMA}$ )

Montréal (UMTT) (Léger et Boucher, 1980). La comparaison est basée sur la relation entre UMTT et  $80/20_{VMA}$  en fonction des variables bien définies: VMA, la fréquence cardiaque maximale (FCmax), lactate (LA), qu'il n'est pas question de remettre en cause ces indices (Cazorla, 1990).

Plusieurs études aptes d'évaluer la VMA (Daniels, Scardina, & Hayes, 1984; Cazorla, 1990), ont recommandé le choix des tests triangulaires pour arriver à une vitesse terminale proche à la VMA. En d'autres termes, est-ce que le  $80/20_{VMA}$  (protocole triangulaire) permettra d'obtenir une VMA similaire en comparaison avec UMTT ?

Sans tenir compte de différences dans les deux protocoles utilisés, nous avons émis l'hypothèse que les réponses physiologiques déterminées par le  $80/20_{VMA}$  sont comparables à celles de l'UMTT.

### 2-Méthodes et outils

#### 2.1. Échantillon

Dix-sept athlètes masculins en bonne santé, âgés de 16 à 21 ans, ont participé volontairement à l'étude (caractéristiques anthropométriques présentées dans le Tableau 1). Il s'agit d'athlètes entraînés (4 séances d'entraînement par semaine).

#### 2.2. Matériels

L'étude s'appuie sur l'évaluation de deux épreuves, chaque sujet a réalisé deux évaluations séparées de 72 heures (ordre randomisé) :

- Un test UMTT pour la détermination de la VMA référence;
- Un test  $80/20_{VMA}$  pour pouvoir comparer les résultats obtenus entre les deux tests.

Les tests sont programmés au même moment de la journée, et dans les mêmes conditions expérimentales (température similaires entre 21 °C et 26 °C, et la vitesse du vent sur piste a été contrôlée par un anémomètre portable: PCE-AM81), dans le but d'éloigner tout élément perturbateur. Les sujets n'ont pas été informés de la première valeur réalisée afin qu'ils ne cherchent pas pour objectif de la dépasser.

La nature maximale du  $80/20_{VMA}$  a été vérifiée par mesure de la fréquence cardiaque et de la concentration du lactate sanguin. La fréquence cardiaque a été enregistrée au moyen d'un cardio-fréquence-mètre (Polar RS300x). Des micro-prélèvements sanguins au niveau du lobe de l'oreille/doigt ont été effectués trois minutes après la fin de chaque test pour mesurer la concentration du lactate sanguin à l'aide d'un appareil Lactate Pro (LT-1710).



Saddek Benhammou, Moulay Idriss Mokkedes,  
Laurent Mourrot, Ali Bengoua

Tableau 1 : Données anthropométriques

n = 17	Age (années)	Poids (kg)	Taille (cm)
m	18.23	68	175.29
s	1.52	4.07	4.59

**Note** : les valeurs en moyennes  $\pm$  écarts-types

### 2.3. Test sur Piste de l'Université de Montréal (UMTT)

Il s'agit d'un test continu à intensité croissante par paliers. Ce test consiste à courir autour d'une piste (des plots disposés tout autour de la piste tous les 50 mètres) au rythme de signaux sonores dont la fréquence s'accélère (incrémentation) de 1 km.h<sup>-1</sup> toutes les deux minutes. La vitesse initiale est de 8 km.h<sup>-1</sup>, la vitesse au dernier palier de course entièrement couru est la vitesse maximale aérobie (Léger et Boucher, 1980). La VO<sub>2</sub>max est déterminée à partir de la formule développée par Léger et Mercier (1983) :

$$VO_{2max} = 3.5 * V.$$

V : la vitesse maximale aérobie en km.h<sup>-1</sup>.

### 2.4. Protocole du test 80/20<sub>VMA</sub>

Il s'agit d'un test intermittent par paliers. Le test peut s'effectuer sur une piste plate étalonnée de 200m ou 400m. Il consiste à suivre une vitesse de course réglée par des bips sonores émettant des bips à intervalles réguliers de 80m suivie d'une phase de récupération de 20m. A chaque bip, le sportif doit se trouver au niveau d'un des plots placés tous les 40 mètres sur la piste. Le premier palier démarre sur un rythme de 8 km.h<sup>-1</sup>. La vitesse augmente de 0.5 km.h<sup>-1</sup> toutes les 200m ce qui correspond au franchissement d'un palier. La VMA correspond à la vitesse atteinte au dernier palier courue complètement. Dans le cas où un palier n'est pas entièrement réalisé, on retient l'avant dernière vitesse courue régulièrement.



**Proposition d'un test d'effort intermittent  
pour déterminer la vitesse maximale aérobie (80/20<sub>VMA</sub>)**

Tableaux 2 : Tableau de correspondance du test 80/20<sub>VMA</sub>

Paliers	VMA Km/h	40m	80m	R	40m	80m	R	D
01	8	18"	36"	15"	18"	36"	15"	1'42"
02	8.5	17"	34	15"	17	34	15"	3'20"
03	9	16"	32"	15"	16"	32"	15"	4'54"
04	9.5	15"	30"	15"	15"	30"	15"	6'24"
05	10	14"	28"	15"	14"	28"	15"	7'50"
06	10.5	14"	28"	15"	14"	28"	15"	9'16"
07	11	13"	26"	15"	13"	26"	15"	10'38"
08	11.5	13"	26"	15"	13"	26"	15"	12"
09	12	12"	24"	15"	12"	24"	15"	13'18
10	12.5	12"	24"	15"	12"	24"	15"	14'36"
11	13	11"	22"	15"	11"	22"	15"	15'50"
12	13.5	11"	22"	15"	11"	22"	15"	17'04"
13	14	10"	20"	15"	10"	20"	15"	18'14"
14	14.5	10"	20"	15"	10"	20"	15"	19'24"
15	15	10"	20"	15"	10"	20"	15"	20'34"
16	15.5	9"	18"	15"	9"	18"	15"	21'40"
17	16	9"	18"	15"	9"	18"	15"	22'46"
18	16.5	9"	18"	15"	9"	18"	15"	23'52"
19	17	8"	16"	15"	8"	16"	15"	24'54"
20	17.5	8"	16"	15"	8"	16"	15"	25'56"
21	18	8"	16"	15"	8"	16"	15"	26'58"
22	18.5	8"	16"	15"	8"	16"	15"	28'
23	19	7"	14"	15"	7"	14"	15"	28'58"
24	19.5	7"	14"	15"	7"	14"	15"	29'56"
25	20	7"	14"	15"	7"	14"	15"	31'14"
26	20.5	7"	14"	15"	7"	14"	15"	31'52"
27	21	6"	12"	15"	6"	12"	15"	32'46"
28	21.5	6"	12"	15"	6"	12"	15"	33'44"
29	22	6"	12"	15"	6"	12"	15"	34'34"
30	22.5	6"	12"	15"	6"	12"	15"	35'28"
31	23	5"	10"	15"	5"	10"	15"	36'18"
32	23.5	5"	10"	15"	5"	10"	15"	37'08"
33	24	5"	10"	15"	5"	10"	15"	37'58"
34	24.5	5"	10"	15"	5"	10"	15"	38'48"
35	25	4"	8"	15"	4"	8"	15"	39'34"

**Note :** R : récupération sur 20 mètre. D : durée d'effort

### 2.5. Analyse statistique

Les résultats sont exprimés en moyenne  $\pm$  écart type. Des coefficients de corrélation ont été calculés entre les deux tests en utilisant un test de B.Pearson, complétée par des calculs des coefficients de variation (CV) pour vérifier la relation entre les résultats obtenus par les deux tests. Un test t de Student pour des échantillons appariés a été utilisé, cet outil statistique a pour but de définir des différences significatives entre les deux tests comparés. L'analyse de Bland-Altman (Bland et Altman, 1986) est



Saddek Benhammou, Moulay Idriss Mokkedes,  
Laurent Mourrot, Ali Bengoua

également utilisée afin d'estimer la concordance et les limites d'agrément entre les valeurs obtenues lors du test 80/20<sub>VMA</sub> et UMTT. Le niveau de signification a été établi à  $p < 0.05$ . L'analyse statistique a été réalisée sous IBM SPSS STATISTIC version 23.

### 3. Résultats

Les valeurs de VMA ainsi que les autres variables mesurées sont présentées dans le tableau 3. Les résultats de ce travail révèlent une différence significative entre les deux tests concernant la variable principale de cette étude (VMA). La moyenne de VMA obtenue lors du UMTT ( $17.3 \text{ km.h}^{-1} \pm 1.3$ ) était inférieure à celle mesurée à l'aide du 80/20<sub>VMA</sub> ( $18.7 \text{ km.h}^{-1} \pm 1.2$ ), malgré un fort coefficient de corrélation ( $r = 0.93$ ;  $CV = 6.8\%$ ). Les limites d'agrément à 95% entre les valeurs de VMA déterminées par UMTT ( $VMA_{UMTT}$ ) et celles mesurées par 80/20<sub>VMA</sub> ( $VMA_{80/20}$ ) étaient -2.15 à  $0.31 \text{ km.h}^{-1}$  (bias =  $1.23 \text{ km.h}^{-1}$ ).

Concernant la FCmax, aucune différence significative enregistrée entre les deux tests. La FCmax moyenne était à  $190.9 \pm 2.2$  bpm pour UMTT,  $191.8 \pm 3.3$  bpm pour 80/20<sub>VMA</sub> ( $r = 0.70$ ;  $CV = 1.1\%$ ) (tableau 3). Enfin, les valeurs de la concentration en lactates sanguins relevées durant 80/20<sub>VMA</sub> sont supérieures à celles enregistrées durant UMTT. Les moyennes après chaque test étaient  $11.0 \pm 0.4 \text{ mmol.L}^{-1}$  pour UMTT, et  $11.3 \pm 0.5 \text{ mmol.L}^{-1}$  pour 80/20<sub>VMA</sub>, mais cet écart n'est significatif (tableau 3) malgré un faible coefficient de corrélation ( $r = 0.28$ ;  $CV = 3.9\%$ ).

Tableau 3 : Caractéristiques physiologiques et performances réalisées lors des deux tests

Test Variables	Test UMTT	Test 80/20 <sub>VMA</sub>
VMA ( $\text{km.h}^{-1}$ )	<b><math>17.3 \pm 1.3</math> *</b>	<b><math>18.7 \pm 1.2</math></b>
CC		<b>0.93</b>
CV (%)		<b>6.8</b>
FCmax (bpm)	<b><math>190.9 \pm 2.2</math></b>	<b><math>191.8 \pm 3.3</math></b>
CC		<b>0.70</b>
CV (%)		<b>1.1</b>
LA ( $\text{mmol.L}^{-1}$ )	<b><math>11.0 \pm 0.4</math></b>	<b><math>11.3 \pm 0.5</math></b>
CC		<b>0.28</b>
CV (%)		<b>3.9</b>

\*: différence significative vs test 80/20<sub>VMA</sub> à  $p < 0.05$ .

CC : coefficient de corrélation. CV (%) : coefficient de variation en pourcentage. FCmax : fréquence cardiaque maximale.



## Proposition d'un test d'effort intermittent pour déterminer la vitesse maximale aérobie ( $80/20_{VMA}$ )

LA : lactatémie



Figure 1: Relation entre  $VMA_{UMTT}$  et  $VMA_{80/20}$

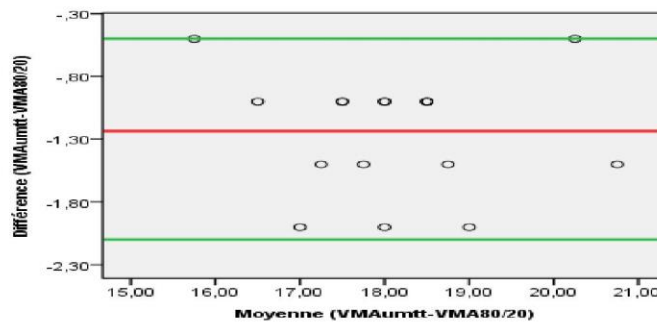


Figure 2: Concordance entre  $VMA_{UMTT}$  et  $VMA_{80/20}$ : graphe de Bland et Altman

### 4. Discussion

L'objectif de cette étude était de comparer les réponses physiologiques et la VMA au cours d'un test progressif (UMTT) par rapport à un nouveau test de course sur piste ( $80/20_{VMA}$ ). Les résultats ont montré des valeurs de VMA significativement différentes entre les deux tests de terrain. Par contre, aucune différence de FCmax et lactatémie de fin d'effort n'a été observée entre les deux tests.

#### 4.1. La vitesse maximale aérobie

Dans notre étude, on a enregistré une différence entre  $VMA_{UMTT}$  et  $VMA_{80/20}$  de  $1.4 \text{ km.h}^{-1}$  en moyenne, soit une différence 8%. À titre individuel, les résultats ont montré une variabilité des VMA obtenues dans la mesure où 8 athlètes sur 17, soit 47% ont un écart plus de  $1 \text{ km.h}^{-1}$  avec



Saddek Benhammou, Moulay Idriss Mokkedes,  
Laurent Mourrot, Ali Bengoua

un risque d'erreurs qui n'excède pas  $2 \text{ km.h}^{-1}$ . La figure 1A, illustre une relation linéaire entre les résultats des deux tests. Ces résultats sont différents à d'autres études comparant des tests d'évaluation de la VMA. En effet, Berthon et al. 1997 ont montré que la VMA moyenne obtenue à partir d'un test de 5 min ( $14,8 \text{ km.h}^{-1}$ ) n'était pas différente de la VMA atteinte lors du TPUM ( $14,6 \text{ km.h}^{-1}$ ). Bellenger et al. 20105 ont aussi trouvé des valeurs identiques de VMA entre UMTT et des distances comprises entre 1 600 et 2 200 m. L'analyse de Bland-Altman fait apparaître une concordance moyenne entre  $VMA_{UMTT}$  et  $VMA_{80/20}$  (figure 1B). avec 90% des différences se trouvent à l'intérieure des limites d'agrément de  $\pm 2.1 \text{ km.h}^{-1}$ . Ces limites sont plus grandes à ceux calculées par Carminatti et al. 2013 ( $\pm 0,5 \text{ km.h}^{-1}$ ). De plus, l'étude comparative a montré que la durée totale du  $VMA_{80/20}$  était 1.16 fois plus longue par rapport au UMTT. Cazorla et Léger (1993) ont mises en évidence la relation VMA - durée du test; plus la durée du protocole est longue, plus la VMA est sous-estimée probablement à cause des effets de la fatigue. Ceci explique en partie la différence de VMA entre les deux tests.

#### 4.2. La fréquence cardiaque maximale

Les valeurs de la FCmax n'étaient pas différentes entre les deux tests (tableau 3), et le port d'un cardio-fréquence-mètre au cours des deux épreuves permet d'enregistrer une FCmax proche du maximale théorique (soit  $FC_{max} = 220 - \text{âge}$ ) pour tous les sujets. Nos résultats sont en accord avec ceux rapportés dans la littérature (Fraisie et al., 1991; Lacour et al., 1991; Rochcongar & monod, 2005) qui montrent que l'un des principaux critères de maximalité ; une fréquence cardiaque de fin d'effort supérieure à 90% de la FCmax théorique , et qui pourrait expliquer ces difficultés de différenciation entre les deux tests. Le  $80/20_{VMA}$  permet également d'établir une courbe individuelle de la relation entre vitesse de course et fréquence cardiaque. On constate une augmentation puis une stabilisation ou une évolution plus lente de la fréquence cardiaque, et ensuite une légère diminution pendant les plages de récupération qui permet d'observer la qualité de la récupération de l'athlète. Ceci est la conséquence de la forme fractionné du  $80/20_{VMA}$ .

#### 4.3. La lactatémie

La concentration du lactate sanguin est un bon indicateur biologique largement utilisé (Petibois, Cazorla, & Léger, 2001). Aucune différence n'est à relever entre les deux tests, pourtant les travaux de Cazorla, Petibois, Bosquet, & Léger (2001) ont montré la variation de la cinétique de la lactatémie en fonction des protocoles utilisés triangulaire ou rectangulaire.



### Proposition d'un test d'effort intermittent pour déterminer la vitesse maximale aérobie ( $80/20_{VMA}$ )

Les résultats de ce travail montrent que le  $80/20_{VMA}$  entraîne une légère augmentation moyenne de lactate à  $0.3 \text{ mmol.L}^{-1}$  en comparaison avec UMTT. Cette différence est faible peut être expliquée par l'incrémentaire de la vitesse de  $0.5$  à  $1 \text{ km.h}^{-1}$  entre deux paliers durant les deux tests, et qui implique une sollicitation similaire de la glycolyse lactique. Le facteur important est la récupération de 20m existante dans le  $80/20_{VMA}$ . Les investigations ont montré que le  $80/20_{VMA}$  était mieux toléré par les athlètes comparativement au UMTT à cause de l'intégration des temps de récupération au cours du  $80/20_{VMA}$ . Donc le  $80/20_{VMA}$  peut-être perçu comme moins pénible.

#### 5. Conclusion

En conclusion, est pour répondre au problème posé, la comparaison de ces deux tests permet d'affirmer que le  $80/20_{VMA}$  surestime la VMA, mais le temps de récupération intégré au cours du  $80/20_{VMA}$  favorise ce dernier en matière d'accessibilité tout en évitant la lourdeur du protocole d'un test progressif et continu. Cependant, Les valeurs maximales de fréquence cardiaque, et lactatémie dérivées du  $80/20_{VMA}$  sont comparable à un test classique tel que UMTT. Il faudrait bien sûr une mesure directe de la consommation maximale d'oxygène et une expérimentation impliquant des échantillons plus grande et plus diversifiés. Un jugement sur la validité de ce test ne saurait être formé qu'à ces conditions.





Saddek Benhammou, Moulay Idriss Mokkedes,  
Laurent Mourrot, Ali Bengoua

## 6. Références

- Ahmaidi, S., Collomp, K., Caillaud, C., & Préfaut, C. (1992). Maximal and functional aerobic capacity as assessed by two graduate field methods in comparison to laboratory exercise testing in moderately trained subjects. *International Journal of Sports Medicine*, 13 (3), 243-248.
- Almarwaey, O.A., Jones, A.M., & Tolfrey, K. (2003). Physiological correlates with endurance running performance in trained adolescents. *Med Sci Sports Exerc*, 35 (3), 480-487.
- Bellenger, C. R., Fuller, J. T., Nelson, M. J., Hartland, M., Buckley, J. D., & DeBenedictis, T. A. (2015). Predicting maximal aerobic speed through set distance time-trials. *European journal of applied physiology*, 115(12), 2593-2598.
- Berthon, P., Fellmann, N., Bedu, M., Beaune, B., Dabonneville, M., Coudert, J., & Chamoux, A. (1997). A 5-min running field test as a measurement of maximal aerobic velocity. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 75(3), 233-238.
- Berthoin, S., Gerbeaux, M., Guerrin, F., Lensele-Corbeil, G., & Vandendorpe, F. (1992). Estimation de la Vitesse Maximale Aérobie. *Science et Sports*, 7 (2), 85-91.
- Berthoin, S., Gerbeaux, M., Turpin, E., Guerrin, F., Lensele-Corbeil, G., & Vandendorpe, F. (1994). Comparison of two field tests to estimate maximum aerobic speed. *Journal of sports sciences*, 12 (4), 355-362.
- Berthoin, S., Pelayo, P., Lensele-Corbeil, G., Robin, H., & Gerbeaux, M. (1996). Comparison of maximal aerobic speed assessed with laboratory and field measurements in moderately trained subjects. *International Journal of Sports Medicine*, 17 (7), 525-529.
- Billat, V. (1998). *Physiologie et méthodologie de l'entraînement. De la théorie à la pratique*. Paris: Éditions De boeck.
- Billat, V., Berthoin, S., Blondel, N., & Gerbeaux, M. (2001). La vitesse à VO<sub>2</sub> max, signification et applications en course à pied. *Staps*, 54 (1), 45-61.
- Billat, V., & Koralsztein, J.P. (1996). Significance of the velocity at VO<sub>2</sub>max and time to exhaustion at this velocity. *Sports Med*, 22 (2), 90-108.
- Billat, V., Slawinski, J., Bocquet, V., Demarle, A., Laffite, L., Chassaing, P., & Koralsztein, J.P. (2000). Intermittent runs at the velocity



**Proposition d'un test d'effort intermittent  
pour déterminer la vitesse maximale aérobie ( $80/20_{VMA}$ )**

- associated with maximal oxygen uptake enables subjects to remain at maximal oxygen uptake for a longer time than intense but submaximal runs. *Eur. J. Appl. Physiol*, 81 (3), 188-196.
- Bland, J. M., & Altman, D. (1986). Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurements. *The Lancet*, 327(8476), 307-310.
- Briggs, C.A. (1977). Maximum aerobic power and endurance as predictor of middle distance running success. *Aust. J. Sports Med*, 9 (2), 28-31.
- Camus, G., Juchnes, J., Thys, H., & Fossion, A. (1988). Relation entre le temps limite et la consommation maximale d'oxygène dans la course supramaximale. *J. Physiol. Paris*, 83 (1), 26-31.
- Carminatti, L. J., Possamai, C. A., De Moraes, M., Da Silva, J. F., De Lucas, R. D., Dittrich, N., & Guglielmo, L. G. (2013). Intermittent versus continuous incremental field tests: are maximal variables interchangeable?. *Journal of sports science & medicine*, 12(1), 165.
- Cazorla, G. (1990). Test de terrain pour évaluer la capacité aérobie et la vitesse aérobie maximale. In G. Cazorla et G. Robert. *Actes du colloque international de la Guadeloupe, l'évaluation en activité physique et en sport*, Cestas :Areaps. p. 151-174.
- Cazorla G, & Léger, L. (1993). *Comment évaluer et développer vos capacités aérobies. Epreuves de course navette et épreuve VAMEVAL*. Editions AREAPS.
- Cazorla, G., Petibois, C., Bosquet., & Léger, L. (2001). Lactate et exercice : mythes et réalités. *Staps*, 54 (1), 63-76.
- Daniels, J., Scardina, N., & Hayes, J. (1984). Elite and subelite female middle-and long-distance runners. In : Landers DM (Ed). *Sport and Elite performers. Proceedings of the Olympic Scientific Congress, Vol 3*, (pp. 57-72), Oregon-Champaign, Human Kinetics.
- Demarle, A.P., Slawinski, J.J., Laffite, L.P., Bocquet, V.G., Koralsztein, JP., & Billat, V. (2001). Decrease of oxygen deficit is a potential factor in increased time to exhaustion after specific endurance training. *J. Appl. Physiol*, 90 (3), 947-953.
- Di Prempere, P.E., Atchou, G., Bruckner, J.C., & Moia, C. (1986). The energetics of endurance running. *Eur. J. Appl. Physiol*, 55 (3), 259-266.
- Fraisse, F., Desnus, B., Handschuh, R., Jousselein, E., Strady, M., & Thomaidis, M. (1991). La consommation maximale d'oxygène des



Saddek Benhammou, Moulay Idriss Mokkedes,  
Laurent Mourrot, Ali Bengoua

- sportifs de haut niveau de moins de 20 ans. *Science & Sports*, 6 (1), 25-35.
- García, G. C., Secchi, J. D., & Cappa, D. F. (2013). Comparación del consumo máximo de oxígeno predictivo utilizando diferentes test de campo incrementales: UMTT, VAM-EVAL y 20m-SRT. *Arch. med. deporte*, 30 (3), 156-162.
- Gore CJ. (2000). *Physiological tests for elite athletes*, 2nd edn. Human Kinetics. C.J. Gore, Leeds.
- Hauswirth, C., Bieuzen, F., Argentin, S., Levêque, J.M., & Patou, E. (2004). Effets d'une alcalose induite sur les paramètres métaboliques et sanguins lors d'un test. *Movement & Sport Sciences*, 51 (1), 85-101.
- Lacour, J.R., & Candau, R. (1990). Vitesse maximale aérobie et performance en course à pied. *Science et Sports*, 5 (4):183-189.
- Lacour, J.R., Montmayeur, A., Dormois, D., Gacon, G., Padilla, S., & Vial, C. (1989). Validation de l'épreuve de mesure de la vitesse maximale aérobie (VMA) dans un groupe de coureurs de haut niveau. *Sciences et Motricité* 7: 3-8.
- Lacour, J.R., Padilla-Magunacelaya, S., Barthélémy, J.C., & Dormois, D. (1990). The energetics of middle distance running. *Eurl. J. Appl. Physiol*, 60 (1), 38-43.
- Lacour, J.R., Padilla-Magunacelaya, S., Chatard, J.C., Arzac, L., & Barthélémy, J.C. (1991). Assessment of running velocity at maximal oxygen uptake. *Eurl. J. Appl. Physiol*, 62 (2): 77-82.
- Laursen, P.B., & Jenkins, D.G. (2002). The scientific basis for high-intensity interval training: optimising training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes. *Sports Med*, 32 (1), 53-73.
- Léger, L., & Boucher., R. (1980). An Indirect continuous running multistage field test, the university de Montréal Track Test. *Can. J. Appl. Sports Sci*, 5 (2), 77-84.
- Léger, L., & Mercier, D. (1983). Coût énergétique de la course sur tapis roulant et sur piste. Une synthèse des courbes publiées. *Motricité humaine*, INSEP, Paris. No 2: 66-69.



**Proposition d'un test d'effort intermittent  
pour déterminer la vitesse maximale aérobie ( $80/20_{VMA}$ )**

---

- Noakes, T., Myburgh, K., & Schall, R. (1990). Peak treadmill running velocity during the VO<sub>2</sub> max test predicts running performance. *J Sports Sci*, 8 (1), 35-45.
- Padilla, S., Bourdin, M., Barthélémy, J.C., & Lacour, J.R. (1992). Physiological correlates of middle-distance running performance. A comparative study between men and women. *Eur. J. Appl. Physiol*, 65 (6), 561-566.
- Péronnet, F., & Thibault, G. (1987). Analyse physiologique de la performance en course à pied: révision d'un modèle hyperbolique. *J. Physiol*, 82 (1), 52-60.
- Péronnet, F., Thibault, G., Rhodes, E.C., & McKenzie, D.C. (1987). Correlation between ventilator y threshold and endurance capability in marathon runners. *Medicine and science in sports and exercise*, 19 (6), 610-615.
- Petibois, C., Cazorla, G., & Léger, L. (2001). Les analyses métaboliques dans le contrôle biologique de l'entraînement, *Staps*, 54 (1), 77-88.
- Rochcongar, P., & Monod, H. (2005). *Médecine du sport*. Paris: Éditions Masson.



DOI 10.2478/afepuc-2020-0021

© Acta Facultatis Educationis Physicae Universitatis Comenianae 2020, 60(2): 252-262

## COMPARISON OF TWO TESTS TO DETERMINE THE MAXIMAL AEROBIC SPEED

Benhammou Saddek<sup>1</sup>, Jérémy B.J. Coquart<sup>2</sup>, Laurent Mourot<sup>3,4</sup>, Belkadi Adel<sup>1</sup>, Mokkedes Moulay Idriss<sup>1</sup>, Bengoua Ali<sup>1</sup>, Mokrani Djamel<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratory for Optimizing Research Programmes on Physical and Sports, Institute of Sports and Physical Education, Abdelhamid Ibn Badis University of Mostaganem, Algeria.

<sup>2</sup> University of Rouen Normandy, UFR STAPS, France.

<sup>3</sup> Research Unit EA3920, Prognostic Factors and Regulatory Factors of Cardiac and Vascular Pathologies, Exercise Performance Health Innovation Platform, University of Bourgogne Franche-Comté, Besançon, France.

<sup>4</sup> Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia.

**Summary:** The aims of this study were (a): to compare maximal physiological responses (maximal heart rate: HRmax and blood lactate concentration: [La]) and maximal aerobic speed (MAS) achieved during a gold standard test (T-VAM) to those during a new test entitled: the 150-50 Intermittent Test (150-50<sub>IT</sub>), and (b): to test the reliability of the 150-50<sub>IT</sub>. Eighteen middle-distance runners performed, in a random order, the T-VAM and the 150-50<sub>IT</sub>. Moreover, the runners performed a second 150-50<sub>IT</sub> (retest). The results of this study showed that the MAS obtained during 150-50<sub>IT</sub> were significantly higher than the MAS during the T-VAM ( $19.1 \pm 0.9$  vs.  $17.9 \pm 0.9$  km.h<sup>-1</sup>,  $p < 0.001$ ). There was also significant higher values in HRmax ( $193 \pm 4$  vs.  $191 \pm 2$  bpm,  $p = 0.011$ ), [La] ( $11.4 \pm 0.4$  vs.  $11.0 \pm 0.5$  mmol.L<sup>-1</sup>,  $p = 0.039$ ) during the 150-50<sub>IT</sub>. Nevertheless, significant correlations were noted for MAS ( $r = 0.71$ ,  $p = 0.001$ ) and HRmax ( $r = 0.63$ ,  $p = 0.007$ ). MAS obtained during the first 150-50<sub>IT</sub> and the retest were not significantly different ( $p = 0.76$ ) and were significantly correlated ( $r = 0.94$ ,  $p < 0.001$ , intraclass correlation coefficient = 0.93 and coefficient of variation = 6.8 %). In conclusion, the 150-50<sub>IT</sub> is highly reproducible, but the maximal physiological responses derived from both tests cannot be interchangeable in the design of training programs.

**Key words:** Maximal aerobic velocity, intermittent test, validity, reliability, runner.

## Introduction

Different physiological parameters, such as maximal oxygen uptake ( $\text{VO}_2\text{max}$ ) or even energy cost, are used to predict running performance potential in middle-distance runners (di Prampero et al. 1986). However, these physiological indicators require expensive (gas analyzer) and not always available tools, as well as technical expertise to interpret the results (Coquart et al. 2017). On the other hand, mathematically, the maximal aerobic speed (MAS in  $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$  or  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) corresponds to the division of the maximum oxygen uptake ( $\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) by the energy cost ( $\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$ ). Consequently, MAS is considered as an important indicator for predicting the performance of middle-distance runners (Lacour et al. 1991; Billat et al. 2001), and a great tool to set the training loads (Los Arcos et al, 2019). Moreover, MAS could be assessed from field tests. Consequently, several original investigations have provided evidence of the relevance of MAS as a measure of aerobic fitness (Berryman et al. 2018) and the realism leads coaches to opt for field tests (Saddek 2016; Benhammou et al. 2019). Léger and Boucher (1980) were the first authors to propose a maximum field test called the University of Montreal track test (UM-TT). Subsequently, various protocols followed. The Vameval test (T-VAM) is a modified version of the UM-TT initially used to evaluate the MAS for athletes (Cazorla 1990). During this test, athletes run continuously, with a speed that increases steadily (in steps) over time. The MAS reached at the end of this test is obtained through an effort different from that executed during the training sessions of runners, which often involve intermittent exercises (rather than exercises where the intensity is maintained at a constant level). Indeed, the modern training for middle-distance runners is based on intermittent exercises (Vuorimaa et al. 2008). For this reason, a particular attention was paid to incremental intermittent testing during the last years to assess MAS (Bangsbo et al. 2008; Carminatti et al. 2013; Castagna et al. 2014). In order to remain in this logic, a new intermittent field test adapted to these requirements and entitled: the 150-50 Intermittent Test (150-50IT) has been developed. This test consists of repeated 150m distance runs alternated with 50m of active recovery performed until exhaustion.

Considering the importance of continuous incremental field tests to assess runners endurance performance, a test that includes intermittent runs appeared necessary (Buchheit 2008). In addition, it is also necessary that the type of muscle work performed during the test should be as close as possible to that performed by the athlete during the exercise of his discipline (Manouvrier et al. 2016). It would thus seem preferable that the MAS determination test should be consistent with the actual efforts that produce the middle-distance runners in the field, and that it can be used as a reference for intermittent training sessions.

Therefore, the aims of this study are: (a) to compare the maximal physiological responses and MAS achieved during a continuous gold standard test (T-VAM) to those during the 150/50<sub>IT</sub>, and (b) to examine the reliability of the 150/50<sub>IT</sub> from test-retest procedure. We hypothesized that the 150/50<sub>IT</sub> is a valid and reliable test.

## **Methods**

### ***Participants***

Eighteen ( $22.6 \pm 3.2$  yrs,  $67.7 \pm 2.8$  kg,  $177 \pm 4$  cm,  $21.8 \pm 0.8$  kg.m<sup>-2</sup>) trained (4 training session per week) male middle-distance runners participated in this study. All were familiar with the intermittent exercises as part of their training program. All participants were notified of the research procedures and gave their written consent. The protocol was approved by ethics committee of the Institute of Physical Education and sports at the University Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem, Algeria, and was performed according to the Helsinki Declaration.

### ***Study design and procedures***

After being informed of the purpose of this study, all the subjects performed successively three maximum tests sessions, separated each by 3 days, in random order:

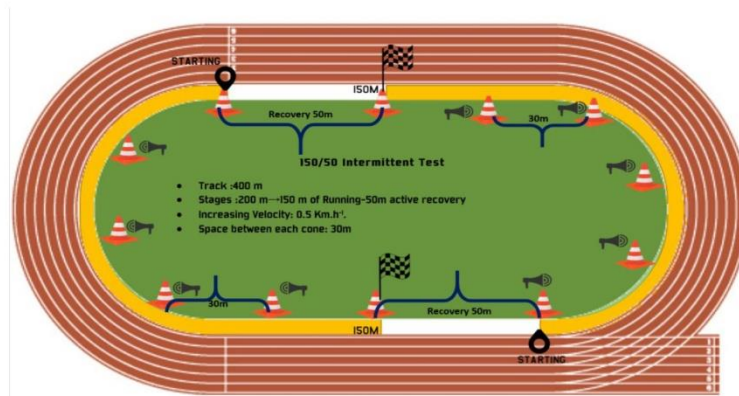
- T-VAM (the gold standard test) in order to determine the reference MAS,
- 150-50<sub>IT</sub> in order to compare the results to T-VAM and test the validity of 150-50<sub>IT</sub>,
- A second 150-50<sub>IT</sub> to analyze the test-retest reliability.

All testing sessions were conducted at the same time of day, and under the same environmental conditions (temperature: 20 – 23°C and the wind speed on the track inferior to 2 m.s<sup>-1</sup>). Maximal heart rate (HR<sub>max</sub>) was recorded using a heart rate monitor (Polar S610i, Polar Electro Oy, Kempele, Finland). Fingertip blood sample was taken three minutes after the end of each test to measure the concentration of blood lactate [La<sup>-</sup>] by the Lactate Pro LT-1710 (Arkray®, Kyoto, Japan).

T-VAM consists to follow race speed controlled by audio beeps on a prerecorded file. Cones were placed every 20 m along the track as a reference. The speed at the first stage was set at 8.5 km.h<sup>-1</sup> and increases by 0.5 km.h<sup>-1</sup> every minute until exhaustion. Participants had to reach cone on each beep and adjusted their running speed. The test ended when the subject no longer capable of following the imposed rhythm of speed, for 3 consecutive occasions (delay on three consecutive cones). The MAS corresponds to the speed at the last completed stage (Cazorla 1990).

### ***The 150-50 Intermittent Test (150-50<sub>IT</sub>)***

The 150-50<sub>IT</sub> is a field running test, which consisted of repeated 150m distance runs performed until exhaustion, alternated with 50m of active recovery (150-50). It takes place on a 400m athletics track ( $150/50 = 200 \times 2 = 400\text{m}$ ). The speed is imposed by an audio beep (designed at the 150-50<sub>IT</sub>) at regular intervals. At each beep, the athlete should be at one of the cone level placed on the track every 30-m. The test starts at a speed of  $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ . The speed is increased by  $0.5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  every 200m, which corresponds to the successful overcoming of a level (Table 1). Subjects were instructed to reach as many stages as possible and incomplete stage is not considered. Finally, it should be noted that the total distance of 200 m for each stage (150 m run alternated with 50m of active recovery to allow an adaptation of the speed) was chosen because it been demonstrated that performance over a distance of 200 m can be used to predict performance in middle-distance runners (Brandon 1995).



**Figure 1**

*Material organization of the 150/50 intermittent test*

**Table1**

*The correspondence table of the 150-50<sub>IT</sub>*

Stage	Speed $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$	30 m	60 m	90 m	120 m	150 m	R	D
01	<b>8</b>	00:13,500	00:27,900	00:40,500	00:54,900	01:07,500	45''	150
02	<b>8.5</b>	00:12,705	00:26,258	00:38,117	00:51,670	01:03,529	45''	300
03	<b>9</b>	00:12,000	00:24,800	00:36,000	00:48,800	01:00,000	45''	450
04	<b>9.5</b>	00:11,368	00:23,494	00:34,105	00:46,231	00:56,842	45''	600
05	<b>10</b>	00:10,800	00:22,320	00:32,400	00:43,920	00:54,000	45''	750
06	<b>10.5</b>	00:10,285	00:21,257	00:30,857	00:41,828	00:51,428	45''	900
07	<b>11</b>	00:09,818	00:20,290	00:29,454	00:39,927	00:49,090	45''	1050
08	<b>11.5</b>	00:09,391	00:19,408	00:28,173	00:38,191	00:46,956	45''	1200
09	<b>12</b>	00:09,000	00:18,600	00:27,000	00:36,600	00:45,000	45''	1350
10	<b>12.5</b>	00:08,640	00:17,856	00:25,920	00:35,136	00:43,200	45''	1500
11	<b>13</b>	00:08,307	00:17,169	00:24,923	00:33,784	00:41,538	45''	1650
12	<b>13.5</b>	00:08,000	00:16,533	00:24,000	00:32,533	00:40,000	45''	1800
13	<b>14</b>	00:07,714	00:15,942	00:23,142	00:31,371	00:38,571	45''	1950



14	<b>14.5</b>	00:07,448	00:15,393	00:22,344	00:30,289	00:37,241	45''	2100
15	<b>15</b>	00:07,200	00:14,880	00:21,600	00:29,280	00:36,000	45''	2250
16	<b>15.5</b>	00:06,967	00:14,400	00:20,903	00:28,335	00:34,838	45''	2300
17	<b>16</b>	00:06,750	00:13,950	00:20,250	00:27,450	00:33,750	45''	2450
18	<b>16.5</b>	00:06,545	00:13,527	00:19,636	00:26,618	00:32,727	45''	2600
19	<b>17</b>	00:06,352	00:13,129	00:19,058	00:25,835	00:31,764	45''	2750
20	<b>17.5</b>	00:06,171	00:12,754	00:18,514	00:25,097	00:30,857	45''	2900
21	<b>18</b>	00:06,000	00:12,400	00:18,000	00:24,400	00:30,000	45''	3150
22	<b>18.5</b>	00:05,837	00:12,064	00:17,513	00:23,740	00:29,189	45''	3300
23	<b>19</b>	00:05,684	00:11,747	00:17,052	00:23,115	00:28,421	45''	3450
24	<b>19.5</b>	00:05,538	00:11,446	00:16,615	00:22,523	00:27,692	45''	3600
25	<b>20</b>	00:05,400	00:11,160	00:16,200	00:21,960	00:27,000	45''	3750
26	<b>20.5</b>	00:05,268	00:10,887	00:15,804	00:21,424	00:26,341	45''	3900
27	<b>21</b>	00:05,142	00:10,628	00:15,428	00:20,914	00:25,714	45''	4050
28	<b>21.5</b>	00:05,023	00:10,381	00:15,069	00:20,427	00:25,116	45''	4200
29	<b>22</b>	00:04,909	00:10,145	00:14,727	00:19,963	00:24,545	45''	4350
30	<b>22.5</b>	00:04,800	00:09,920	00:14,400	00:19,520	00:24,000	45''	4500
31	<b>23</b>	00:04,695	00:09,704	00:14,086	00:19,095	00:23,478	45''	4650
32	<b>23.5</b>	00:04,595	00:09,497	00:13,787	00:18,689	00:22,978	45''	4800
33	<b>24</b>	00:04,500	00:09,300	00:13,500	00:18,300	00:22,500	45''	4950
34	<b>24.5</b>	00:04,408	00:09,110	00:13,224	00:17,926	00:22,040	45''	5100
35	<b>25</b>	00:04,320	00:08,928	00:12,960	00:17,568	00:21,600	45''	5250

D: distance traveled (m). R: recovery.

### *Statistical analysis*

The results are presented as mean  $\pm$  standard deviation (SD). Normality of data was checked using the Shapiro–Wilk test. Student’s t-test for paired sample was used to compare the differences between the T-VAM and the first 150-50<sub>IT</sub>. The relationships between measurements were checked using Pearson correlation coefficient ( $r$ ). The reproducibility was assessed by the coefficient of variation (CV), the intraclass correlation coefficient (ICC), and Bland and Altman plots. The level of statistical significance was set at  $p < 0.05$ . All statistical analyses were performed using SPSS for Windows 23.0 (SPSS Inc., IBM, Chicago, USA).

### **Results**

MAS and maximal physiological responses (HR<sub>max</sub> and [La<sup>-</sup>]) during T-VAM and the first 150-50<sub>IT</sub> are presented in Table 2. The average for MAS obtained during the T-VAM was lower than that measured using 150-50<sub>IT</sub> ( $p < 0.001$ ), despite a high correlation coefficient ( $r = 0.71$ ;  $p = 0.001$ ).

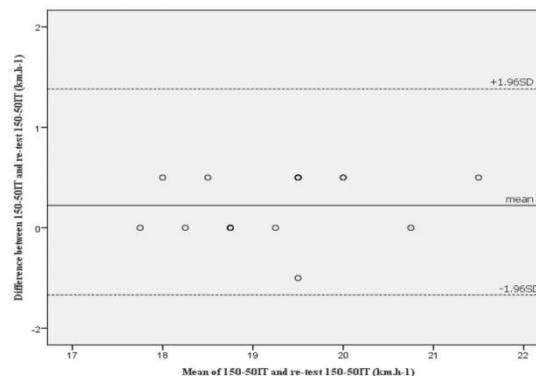
Regarding the results of HR<sub>max</sub>, there was a significant difference between both tests ( $p = 0.011$ , Table 2). Nevertheless, these data were significantly correlated ( $r = 0.63$ ,  $p = 0.007$ ). The values of [La<sup>-</sup>] found during 150-50<sub>IT</sub> are higher than those recorded during T-VAM ( $p = 0.039$ ) and no significant correlation was noted between the both tests ( $p = 0.467$ ).

**Table 2**  
Physiological characteristics and performance for both tests

Variables	150-50 <sub>IT</sub>	T-VAM	Correlation of Pearson	
MAS (km.h <sup>-1</sup> )	19.1 ± 0.9*	17.9 ± 0.9	p = 0.001	r = 0.71
HRmax (bpm)	193 ± 4*	191 ± 2	p = 0.007	r = 0.63
[La <sup>-</sup> ] (mmol.L <sup>-1</sup> )	11,4 ± 0,4*	11,0 ± 0,5	p = 0.467	r = 0,22

\*:Significant difference between T-VAM and 150-50<sub>IT</sub> ( $p < 0.05$ ).

Finally, MAS obtained during the first 150-50<sub>IT</sub> and the retest were not significantly different ( $19.1 \pm 0.9 \text{ km.h}^{-1}$  vs.  $19.4 \pm 1.6 \text{ km.h}^{-1}$ ,  $p = 0.76$ ). Moreover, the correlation coefficient, coefficient of variation and intraclass correlation coefficient were of 0.94, 6.8 and 0.93, respectively. Figure 2 reports the Bland and Altman plot. Significant agreement was found between test-retest without systematic bias ( $0.20 \text{ km.h}^{-1}$ ) with low agreement limits ( $-1.58$ - $1.41 \text{ km.h}^{-1}$ ).



**Figure 2**  
Bland-Altman plot of test-retest reproducibility

## Discussions

The main aim of this study was to compare the MAS achieved during a continuous gold standard test (T-VAM) to those during the 150/50<sub>IT</sub>, and to check that the maximal physiological responses derived from both tests could be used interchangeably. Moreover, test-retest reliability of 150/50<sub>IT</sub> was also studied. The major finding in the present study indicates that the MAS measured on T-VAM is significantly different of MAS achieved on the 150/50<sub>IT</sub>,

and the maximal physiological responses (HRmax and [La<sup>-</sup>]) derived from both tests are not interchangeable. Nevertheless, the 150/50<sub>IT</sub> was reliable.

The parameters (MAS, HRmax and [La<sup>-</sup>]) reached at the end of T-VAM and 150/50<sub>IT</sub> were significantly different. There was a difference between the MAS obtained in the two tests ranging between 1.5 km.h<sup>-1</sup> and 3 km.h<sup>-1</sup> a difference of 9 to 15%. However, MAS obtained during both tests were significantly correlated ( $r = 0.71, p < 0.05$ ). The present results can be compared with previous studies comparing intermittent vs. continuous incremental field tests (Aziz et al. 2005; Dupont et al. 2010; Benhammou, 2020). Similar to our observations, authors (Schnitzler et al, 2010; Los Arcos et al. 2019) have previously reported significant differences between MAS obtained from a T-VAM and intermittent tests, but all these authors have noted a significant correlation with high correlation coefficients ( $r > 0.67$ ). Thus, although the MAS are significantly different, the significant correlations (like those obtained in other studies: Schnitzler et al. 2010 and Los Arcos et al. 2019) seem to suggest the convergent validity of 150/50<sub>IT</sub>.

The HRmax were different between T-VAM and 150/50<sub>IT</sub> (Table 2), but wearing a heart rate monitor during the two tests allows to obtain a maximal HR close to the theoretical maximum ( $FC_{max} = 220 - \text{age}$ ) (Nes et al. 2013) for all subjects. Our results contrast, however, with those reported by Dupont et al. (2010) who found similar values comparing the UM-TT ( $192.3 \pm 8.0$  bpm) and Yo-Yo intermittent recovery test ( $191.4 \pm 7.8$  bpm). The 150/50<sub>IT</sub> also allows establishing an individual curve of the relationship between running speed and HR. There is an increase and then a slower stabilization or evolution of the heart rate, and then a slight decrease during the recovery ranges that allows observing the quality of the recovery of the athlete. This is the additional interest of the intermittent form of 150/50<sub>IT</sub>, even if further studies need to be conducted.

The [La<sup>-</sup>] is one of the most frequently used biological parameters in sports biology (Petibois et al. 2001; Adel et al. 2019). A significant difference was noted between the two tests for [La<sup>-</sup>]. The results of this work show that 150/50<sub>IT</sub> causes a greater accumulation of lactate ( $+0.4$  mmol.L<sup>-1</sup>) in comparison with VAM-T. These values at the end of the 150/50<sub>IT</sub> allowed to confirm the major contribution of anaerobic metabolism (with higher speed during the last stages in comparison with the VAM-T). These results are in agreement with previous studies showing a major anaerobic participation during intermittent exercise (Buchheit et al. 2009).

The 150/50<sub>IT</sub> was found to have a high level of reliability in all studied parameters. The CV and ICC were within the acceptable ranges outlined by Hopkins et al. (2001). Therefore, the 150/50<sub>IT</sub> must be considered as reliable.

### Conclusion

Based on the present findings, the 150/50<sub>IT</sub> is highly reproducible but it overestimates the MAS, HR<sub>max</sub> and [La<sup>-</sup>]. These physiological indices derived from 150/50<sub>IT</sub> and T-VAM cannot be interchangeable when designing training programs. Future studies should be conducted to examine the validity of the 150/50<sub>IT</sub>.

### Acknowledgments

*This study was supported by the University of Franche Comté and Tomsk Polytechnic University CE Program. The author thanks the subjects for their participation in the study as well as the Directorate General for Scientific Research and Technological Development (DG-RSDT).*

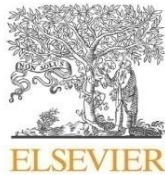
### References

1. ADEL, B., B. ABDELKADER, C. ALIA, B. OTHMAN, S. MOHAMED & A. HOUCIN, 2019. The Effect of High-Intensity Exercise on Changes of Blood Concentration Components in Algerian National Judo Athletes. *Acta Facultatis Educationis Physicae Universitatis Comenianae*. **59**(2), 148–160. <https://doi.org/10.2478/afepuc-2019-0013>.
2. AZIZ, A.R., F.H.Y. TAN & K.C. TEH, 2005. A Pilot Study Comparing Two Field Tests with the Treadmill Run Test in Soccer Players. *Journal of Sports Science & Medicin*. **4**(2), 105–112.
3. BANGSBO, J., F.M. IAIA & P. KRUSTRUP, 2008. The Yo-Yo intermittent recovery test : a useful tool for evaluation of physical performance in intermittent sports. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*. **38**(1), 37–51. <https://doi.org/10.2165/00007256-200838010-00004>.
4. BENHAMMOU, S., M.M. IDRIS, M. LAURENT & B. ALI, 2019. Proposition d'un test d'effort intermittent pour déterminer la vitesse maximale aérobie (80/20<sub>VMA</sub>). *Journal of Sport Science Technology and Physical Activities*. **16**(2), 95-107.
5. BENHAMMOU, S., M. LAURENT, M.M. IDRIS, B. ALI & B. ADEL, 2020. Assessment of maximal aerobic speed in runners with different performance levels: interest of a new intermittent running test. *Science & sports (in press)*.

6. BERRYMAN, N., I. MUJICA, D. ARVISAIS, M. ROUBEIX, C. BINET & L. BOSQUET, 2018. Strength Training for Middle- and Long-Distance Performance: A Meta-Analysis. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. **13**(1), 57–63. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0032>.
7. BILLAT, V., S. BERTHOIN, N. BLONDEL & M. GERBEAUX, 2001. La vitesse à VO2 max, signification et applications en course à pied. *Staps*. no **54**(1), 45–61.
8. BRANDON, L.J., 1995. Physiological Factors Associated with Middle Distance Running Performance. *Sports Medicine*. **19**(4), 268–277. <https://doi.org/10.2165/00007256199519040-00004>.
9. BUCHHEIT, M., 2008. The 30-15 intermittent fitness test: accuracy for individualizing interval training of young intermittent sport players. *Journal of Strength and Conditioning Research*. **22**(2), 365–374. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181635b2e>.
10. BUCHHEIT, M., H. HADDAD, G.P. MILLET, P.M. LEPRETRE, M. NEWTON & S. AHMAIDI, 2009. Cardiorespiratory and cardiac autonomic responses to 30-15 intermittent fitness test in team sport players. *Journal of Strength and Conditioning Research*. **23**(1), 93–100. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31818b9721>.
11. CARMINATTI, L.J., C.A.P. POSSAMAI, M. DE MORAES, J.F. DA SILVA, R.D. DE LUCAS, N. DITTRICH & L.G.A. GUGLIELMO, 2013. Intermittent versus Continuous Incremental Field Tests: Are Maximal Variables Interchangeable? *Journal of Sports Science & Medicine*. **12**(1), 165–170.
12. CASTAGNA, C., F. IELLAMO, F.M. IMPELLIZZERI & V. MANZI, 2014. Validity and reliability of the 45-15 test for aerobic fitness in young soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. **9**(3), 525–531. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2012.0165>.
13. CAZORLA, G., 1990 Field tests to evaluate aerobic capacity and maximal aerobic speed. In: *Proceedings of the International Symposium of Guadeloupe* (pp. 151–173).
14. COQUART J.B., P. MUCCI, M. L'HERMETTE, K. CHAMARI, C. TOURNY & M. GARCIN, 2017. Correlation of gas exchange threshold and first muscle oxyhemoglobin inflection point with time-to-exhaustion during heavy-intensity exercise. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. **57**(3), 171–178. <https://doi.org/10.23736/S00224707.16.06053-9>.

15. DI PRAMPERO, P.E., G. ATCHOU, J.C. BRÜCKNER & C. MOIA, 1986. The energetics of endurance running. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. **55**(3), 259–266. <https://doi.org/10.1007/BF02343797>.
16. DUPONT, G., M. DEFONTAINE, L. BOSQUET, N. BLONDEL, W. MOALLA & S. BERTHOIN, 2010. Yo-Yo intermittent recovery test versus the Université de Montréal Track Test: relation with a high-intensity intermittent exercise. *Journal of Science and Medicine in Sport*. **13**(1), 146–150. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2008.10.007>.
17. HOPKINS, W.G., E.J. SCHABORT & J.A. HAWLEY, 2001. Reliability of power in physical performance tests. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*. **31**(3), 211–234. <https://doi.org/10.2165/00007256-200131030-00005>.
18. LACOUR, J.R., S. PADILLA, J.C. CHATARD, L. ARSAC & J.C. BARTHÉLÉMY, 1991. Assessment of running velocity at maximal oxygen uptake. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. **62**(2), 77–82. <https://doi.org/10.1007/BF00626760>.
19. LÉGER, L. & R. BOUCHER, 1980. An indirect continuous running multistage field test: the Université de Montréal track test. *Can J Appl Sport Sci*. **5**:77–84.
20. LOS ARCOS, A., J.S. VÁZQUEZ, F. VILLAGRA, J. MARTÍN, J. LERGA, F. SÁNCHEZ, J. BERTÓ & J.J. ZULUETA, 2019. Assessment of the maximal aerobic speed in young elite soccer players: Université de Montréal Track Test (UM-TT) vs. treadmill test. *Science & Sports*. **34**(4), 267–271. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2019.03.010>.
21. MANOUVRIER, C., J. CASSIRAME & S. AHMAIDI, 2016. Proposal for a Specific Aerobic Test for Football Players: The “Footeval”. *Journal of Sports Science & Medicine*. **15**(4), 670–677.
22. NES, B.M., I. JANSZKY, U. WISLOFF, A. STOYLEN & T. KARLSEN, 2013. Age predicted maximal heart rate in healthy subjects: The HUNT fitness study. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. **23**(6), 697–704. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2012.01445.x>.
23. PETIBOIS, C., G. CAZORLA & L. LEGER, 2001. Les analyses métaboliques dans le contrôle biologique de l’entraînement. *Staps*. no **54**(1), 77–88.
24. SADDEK, B., 2016. Vers un nouveau test d’évaluation de la vitesse maximale aérobie (VMA) des footballeurs de différent niveau. *Proceedings of the internationale Congress of Sciences and Football “Image, Multimedia and New Technologies”*, Valenciennes, France.150-151.

25. SCHNITZLER, C., G. HECK, J.C. CHATARD & V. ERNWEIN, 2010. A simple field test to assess endurance in inexperienced runners. *Journal of Strength and Conditioning Research*. **24**(8), 2026-2031. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181d2c48d>.
26. VUORIMAA, T., M. AHOTUPA, K. HÄKKINEN & T. VASANKARI, 2008. Different hormonal response to continuous and intermittent exercise in middle-distance and marathon runners. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. **18**(5), 565–572. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2007.00733.x>.



Disponible en ligne sur  
**ScienceDirect**  
[www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

Elsevier Masson France  
**EM|consulte**  
[www.em-consulte.com](http://www.em-consulte.com)



## ORIGINAL ARTICLE

## Assessment of maximal aerobic speed in runners with different performance levels: Interest of a new intermittent running test



*Évaluation de la vitesse maximale aérobie chez des coureurs ayant différents niveaux de performance : intérêt d'un test de course à pied intermittent*

S. Benhammou<sup>a,\*</sup>, L. Mourot<sup>b,c</sup>, M.I. Mokkedes<sup>a</sup>, A. Bengoua<sup>a</sup>, A. Belkadi<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Laboratoire optimisation des programmes des activités physiques et sportives, Institut d'éducation physique et sportive, Université Abdel Hamid Ibn Badis, 27000 Mostaganem, Algeria

<sup>b</sup> Marqueurs pronostiques et facteurs de régulation des pathologies EA3920, Université Bourgogne Franche-Comté, Besançon, France

<sup>c</sup> Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

Received 3 February 2020; accepted 7 October 2020  
 Available online 11 March 2021

### KEYWORDS

Intermittent exercise testing;  
 Maximal aerobic speed;  
 Test duration;  
 Reproducibility;  
 Comparative study

### Summary

**Objectives.** – To compare performance and physiological responses derived from a new intermittent field test (Test<sub>3L</sub>) with a standard continuous test (Test<sub>VAM</sub>), and to examine its reproducibility.

**Methods.** – A first part ( $n=7$ ) allowed defining the maximal aerobic speed (MAS<sub>3L</sub>) equations derived from Test<sub>3L</sub>. A second part allowed validating MAS<sub>3L</sub> in 43 runners, divided into three performance groups: G1 beginners ( $n=22$ ), G2 trained athletes ( $n=14$ ), and G3 elite ( $n=7$ ). The 43 runners performed the Test<sub>3L</sub> twice to measure its reproducibility.

**Results.** – The MAS values measured by the Test<sub>VAM</sub> (MAS<sub>VAM</sub>) were not significantly different from MAS<sub>3L</sub>, for each performance group taken individually or as a whole (3Gr). The difference between MAS<sub>VAM</sub> and MAS<sub>3L</sub> varied between 0.2 and 0.4 km.h on average. Similarly, no significant maximum heart rate (HRmax) differences were found between both tests. In contrast, blood lactate concentration (LA) was significantly higher in Test<sub>VAM</sub> compared to Test<sub>3L</sub>. The total duration of Test<sub>VAM</sub> was 2.74, 3.02, 2.55, and 2.57 times longer for 3Gr, G1, G2, G3, respectively compared to Test<sub>3L</sub> ( $P<0,01$ ). There were no significant differences in MAS, HRmax and LA between the test–retest procedures for Test<sub>3L</sub>.

\* Corresponding author.

E-mail addresses: [saddek.benhammou@univ-mosta.dz](mailto:saddek.benhammou@univ-mosta.dz), [sadekath@yahoo.fr](mailto:sadekath@yahoo.fr) (S. Benhammou).



S. Benhammou, L. Mourot, M.I. Mokkedes et al.

**MOTS CLÉS**

Test intermittent ;  
Vitesse maximale  
aérobie ;  
Durée du test ;  
Reproductibilité ;  
Étude comparative

**Conclusion.** – Hence, it is suggested that the MAS and HRmax derived from Test<sub>3L</sub> can be used when designing training programs. However, caution must be taken with regard to LA. Additionally, Test<sub>3L</sub> is more or less 2.5 times shorter than Test<sub>VAM</sub> and has a high reproducibility.  
© 2021 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

**Résumé**

**Objectifs.** – Comparer la performance et les réponses physiologiques dérivées d'un nouveau test intermittent de terrain (Test<sub>3L</sub>) avec celles mesurées par un test de piste progressif (Test<sub>VAM</sub>), et examiner sa reproductibilité.

**Méthodes.** – Une première partie d'étude ( $n = 7$ ) a permis la définition des équations de détermination de la vitesse maximale aérobie (VMA<sub>3L</sub>) à partir de Test<sub>3L</sub>. La seconde partie a comparé la VMA<sub>3L</sub> obtenue chez 43 coureurs divisés en trois groupes en fonction de leur performance: G1 débutants ( $n = 22$ ), G2 entraînés ( $n = 14$ ), et G3 élite ( $n = 7$ ). Ces athlètes ont effectué deux fois le Test<sub>3L</sub> pour mesurer sa reproductibilité.

**Résultats.** – Les résultats ont montré que les valeurs de VMA mesurées par le Test<sub>VAM</sub> (VMA<sub>VAM</sub>) ne sont pas significativement différentes des valeurs de VMA<sub>3L</sub> pour chaque groupe pris individuellement comme pour les coureurs considérés dans leur ensemble (3Gr). La différence entre VMA<sub>VAM</sub> and VMA<sub>3L</sub> varie entre 0,2 et 0,4 km.h<sup>-1</sup> en moyenne. De même, aucune différence significative de fréquence cardiaque maximale (FCmax) n'a été observée entre les deux tests. En revanche, la concentration en lactates sanguins (LA) était significativement supérieure après Test<sub>VAM</sub> par rapport à Test<sub>3L</sub>. La durée totale du test Test<sub>VAM</sub> était 2,74, 3,02, 2,55, et 2,57 fois plus longue par rapport au Test<sub>3L</sub> pour 3Gr, G1, G2, G3, respectivement ( $p < 0,01$ ). Aucune différence significative de VMA, FCmax et LA entre les deux répétitions de Test<sub>3L</sub>.

**Conclusion.** – Ces résultats suggèrent que la VMA et la FCmax dérivées du Test<sub>3L</sub> peuvent être utilisées pour la conception des programmes d'entraînement. Cependant, il faut être prudent quant à l'utilisation de LA. De plus, le Test<sub>3L</sub> est environ 2,5 fois plus rapide à mettre en œuvre que Test<sub>VAM</sub> et présente une reproductibilité élevée.

© 2021 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

**1. Introduction**

Maximal aerobic speed (MAS) is tightly linked to running performance for distances ranging from 800 m to marathon [1–10]. Because it integrates maximal oxygen uptake (VO<sub>2</sub>max), energy cost and maximal aerobic power [10,11], the MAS is more strongly correlated with running performance than VO<sub>2</sub>max alone [4,12]. This value, which can be used directly in the field, is of paramount use in setting training loads for physical activities which rely predominantly on aerobic energy expenditure [13–15].

Various tests were proposed to measure MAS, which can be grouped into two categories [14]. In the first one, the MAS corresponds to the speed reached at the end of a test primarily designed to determine VO<sub>2</sub>max during laboratory events [16]. However, many runners and trainers, even at high-level, do not wish or do not have the possibility to carry out such a test regularly to optimise the training process. Indeed, the necessary equipment is expensive and allows the measurement of only one subject at a time, limiting its use on a daily practice of training, especially if one has to go to a specialised laboratory far from his/her training facilities [15,17]. In the second category, MAS is determined as the speed achieved during the last completed stage in a continuous incremental and maximum field test. It has been reported that field assessments have a better external validity and are considered more useful than laboratory evaluations [17–19]. In 1980, Léger and Boucher [20]

published the first progressive test (GXT) called the University of Montreal track test (UM–TT). Thereafter, several protocols followed [21–23]. These tests are all based on the gradual increase in running speed using sound signals during a continuous run. One of the most frequently used tests for aerobic metabolism evaluation during running [24] is likely the "VAM-EVAL" test (Test<sub>VAM</sub>) [22], from the French *vitesse aérobie maximale* (VAM), which means maximal aerobic speed, and EVALuation. It starts at 8.5 km.h<sup>-1</sup> and the speed is then increased by 0.5 km.h<sup>-1</sup> every minute. However, Test<sub>VAM</sub> has some limits: the main one is the difficulty of adjusting the speed to the sound signals especially for people who are not used to running [25], as recently highlighted by Pallarés et al. [26]. These authors recommended the need for familiarisation with the sound signals when performing audio-guided running track tests to improve the validity of the test. In addition, many coaches and athletes do not always have the standard test soundtrack, as well as the environment necessary to carry it out [27]. Finally, a recent study has confirmed that the validity and reliability of GXT with 1-min stage protocols in runners needs to be fully verified [28].

Another important thing is that the total test duration is decisive in the assessment of endurance performance in runners [28]. It is well known that long ramp GXT, lasting 20–30 minutes (e.g., an athlete with MAS = 19 km.h<sup>-1</sup>, the VAM-EVAL will take 22 minutes), would prevent athletes from achieving their maximal potential because of accumulative fatigue, dehydration, muscle acidosis, and cardiovascular

**Table 1** Anthropometric measurements of the subjects.

	Part 1				Part 2			
	All (n=7)	Beginners (n=2)	Trained (n=3)	Elite (n=2)	All (n=43)	Beginners (n=22)	Trained (n=14)	Elite (n=7)
Age (yrs)	18.5 ± 2.4	16.0 ± 1.4	18.3 ± 1.1	21.5 ± 0.7	18.2 ± 2.2	17.0 ± 1.7	18.5 ± 0.6	21.7 ± 1.8
Weight (kg)	64.7 ± 8.4	60.5 ± 13.4	67.4 ± 9.2	69.0 ± 2.8	67.4 ± 6.8	68.7 ± 7.9	65.9 ± 6.1	66.5 ± 4.0
Height (cm)	172.4 ± 7.6	167.0 ± 8.4	171.6 ± 8.1	179.0 ± 1.4	172.7 ± 5.4	170.3 ± 5.3	173.5 ± 3.8	178.5 ± 3.4
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	21.6 ± 1.2	21.5 ± 2.6	21.8 ± 1.1	21.5 ± 0.5	22.6 ± 2.0	23.6 ± 2.0	21.8 ± 1.6	20.8 ± 0.7

Mean (±SD) values. BMI: body mass index.

drift. This limit is thus particularly true for well-trained and elite runners [26], for whom a very accurate MAS determination is of utmost importance. To solve these issues, a short duration of the test is, therefore, an important element to allow athletes achieving their true MAS [28]. Thus, short duration tests with inexpensive hardware should be preferred to favour a reliable measurement of MAS during the daily training process [18].

In this context, the aim of this study was to present a new intermittent field test to determine MAS, called three-level test (Test<sub>3L</sub>). The main characteristics of this test are to be shorter than usual test, and adapted into three population groups: beginner, trained and elite runners. Test<sub>3L</sub> does not require any particular hardware, and is simple and fast to implement in the field. It also allows a large number of athletes to be tested at the same time. Thus, Test<sub>3L</sub> can be repeated regularly during the different cycles of a sports season in order to verify the training process and prescribe future training loads.

We compared the MAS and physiological variables obtained from Test<sub>3L</sub> with those of Test<sub>VAM</sub>. We hypothesised that the MAS values obtained by Test<sub>3L</sub> (MAS<sub>3L</sub>) would be comparable to those of Test<sub>VAM</sub> (MAS<sub>VAM</sub>), but with a shorter running duration.

## 2. Materials and methods

### 2.1. Subjects

The study has been divided into two parts to validate Test<sub>3L</sub>. This test is an intermittent test that consists in 1 min runs interspersed by 30sec of recovery, the number of runs varying from 3 to 7 depending on the expected runner's performance (with 3 different performance levels; see Part 2 for further details). MAS is then calculated from an equation that consider the distance covered and a mathematical factor related to the chosen level (see Part 1 for further details). The purpose of Part 1 was to define the equation that will allow determining MAS as a function of the distance covered during the test, in accordance with the chosen performance level. This was achieved with a sample of 7 runners with various performance level. For sake of clarity, the results related to Part 1 is presented in the Method part. Part 2 was dedicated to the validation of the selected method on a wider sample of runners (n=43). As this is the main study part, the associated results are presented in the specific Results section. All runners were in

good health (no injury which could alter running performance and physiological response to exercise). They were advised to refrain from smoking, caffeinated and alcohol drinks, and high-intensity exercise during the 48 hours prior to testing. The study complied with the Helsinki declaration for human experimentation and the participants provided written consent to participate. Approval to conduct the study was obtained from the Ethics committee institute of sports and physical education at the University Abdelhamid Ibn Badis of Mostaganem, Algeria.

### 2.2. Design

#### 2.2.1. Part 1

Seven male athletes (2 beginner athletes, 3 trained, and 2 elites; anthropometric characteristics presented in Table 1), first performed the Test<sub>VAM</sub> to determine their MAS (MAS<sub>VAM</sub>), which has been used as the reference [22]. Seventy-two hours later, they performed Test<sub>3L</sub>, adapted to their performance level (cf infra Part 2. Test<sub>3L</sub> Protocol). Beginners (G1) were defined as recreational runners (non-competitors) who started training (less than three months of regular training, trained 2–3 times a week). Trained (G2) were defined as runners that regularly compete at the national level, and who trained for more than 3 years of training on a regular basis (5 times/week). Elite (G3) were defined as runners that regularly compete at the international level, and who trained for more than 3 years of training on a regular basis (7–9 times/week).

As one of the Test<sub>3L</sub> characteristics is to be intermittent, recovery periods (30sec) allow subjects to run longer distances than if the exercise had been carried out continuously. This means that the average run speed during Test<sub>3L</sub> overestimates the run speed that could be obtained during a continuous run of similar duration. We thus conducted Part 1 study to find 3 equations, which match the MAS of Test<sub>3L</sub> to that of the Test<sub>VAM</sub>, for each performance level.

The average distances achieved at the end of Test<sub>3L</sub> were 862.5 ± 3.5 m, 1495.3 ± 53.3 m, 2547.5 ± 26.1 m for G1, G2, G3, respectively, whereas the MAS<sub>VAM</sub> obtained with the same athletes were 14.7 km.h<sup>-1</sup> ± 0.2 for G1; 16.4 km.h<sup>-1</sup> ± 0.3 for G2; 20.5 km.h<sup>-1</sup> ± 0.4 for G3. The maximum heart rate (HRmax) measured at the end of Test<sub>3L</sub> and Test<sub>VAM</sub> were 195 ± 2 vs. 195 ± 0 bpm for G1; 191 ± 3 vs. 191 ± 0 bpm for G2; 191 ± 0 vs. 188 ± 1 bpm for G3. The homogeneity of the HRmax values at the end of both tests

S. Benhammou, L. Mourot, M.I. Mokkedes et al.

allowed confirming that maximal exertion was obtained at the end of the Test<sub>3L</sub>.

Based on these results, a mathematical factor (F) to correct the mean speed obtained during Test<sub>3L</sub> was obtained as follows:

$$F = \frac{\text{Distance travelled (m)}}{\text{MASVAM (km.h}^{-1}\text{)}}$$

which corresponds to:

$$G1 \text{ (Beginners)} : F = \frac{862}{14.7} = 58$$

$$G2 \text{ (Trained)} : F = \frac{1495}{16.4} = 91$$

$$G3 \text{ (Elite)} : F = \frac{2547}{20.5} = 124$$

Hence, the equations to obtain MAS<sub>3L</sub> correspond to:

$$G1 : \text{MAS}_{3L} \text{ (km.h}^{-1}\text{)} = \frac{D}{58}$$

$$G2 : \text{MAS}_{3L} \text{ (km.h}^{-1}\text{)} = \frac{D}{91}$$

$$G3 : \text{MAS}_{3L} \text{ (km.h}^{-1}\text{)} = \frac{D}{124}$$

D is the total distance (in meters) travelled by the runner.

### 2.2.2. Part 2

Forty-three healthy male athletes of different levels (G1,  $n=22$ ; G2,  $n=14$ ; G3,  $n=7$ ) voluntarily participated in the second part of the study (anthropometric characteristics are presented in Table 1).

After learning of the experimental conditions, participants performed 3 testing protocols at least 72 hours apart (random order):

- a Test<sub>VAM</sub> in order to determine MAS<sub>VAM</sub>, which will serve as the reference;
- a first Test<sub>3L</sub>;
- a second Test<sub>3L</sub> to assess the reproducibility of the new test.

All tests were performed on a 400 m running track (synthetic surface) at the same hour of the day (16 h) 3 hours after eating and under the same experimental conditions (temperature between 17 and 21 °C and runway wind speed between 1.2 m/s and 1.5 m/s measured by a weather station: PCE-AM81, PCE Instruments®, Strasbourg, France). The HR<sub>max</sub> was measured continuously using the heart rate monitor (Polar RS300x, Kempele, Finland) in order to determine the maximum heart rate (average during the final 15 seconds

of the test). The theoretical maximum heart rate (220-age) was also calculated. Blood lactate was measured at rest (LT-1710, Lactate Pro, Kyoto, Japan), at the end of each test, at the 3 minutes of recovery.

### 2.3. Test<sub>3L</sub> Protocol

The test was carried out in a 400 m outdoor flat track, with a whistle and stopwatch. The Test<sub>3L</sub> is adapted to three categories of runners with different physical abilities: beginner, trained and elite. For beginners, it will be a matter of running the greatest possible distance in 3 × 1 minutes with 30 seconds of active recovery between repetitions in hopping on the spot or walking (recovery around the first-minute stopping point, which will later be the starting point of the second minute, and so forth); in the trained athlete, it will be a matter of running the greatest possible distance in 5 × 1 minutes with 30 seconds of active recovery between repetitions and; in the elite athlete, it will be a matter of running the greatest possible distance in 7 × 1 minutes with 30 seconds of active recovery between repetitions. MAS<sub>3L</sub> was thus calculated for each population using equations previously determined (see Part 1).

### 2.4. Test<sub>VAM</sub>

This test consists to follow race speed controlled by audio beeps on a pre-recorded file. Cones were placed every 20 m along the track as a reference. Participants had to reach cones on each beep and adjusted their running speed to the cones placed at 20-m intervals. The test ended when the subject could not keep the imposed pace by the audio beep and failed to reach the next pylon for 3 consecutive occasions. Initial speed was set at 8.5 km.h<sup>-1</sup> and increases by 0.5 km.h<sup>-1</sup> every minute until exhaustion. The MAS<sub>VAM</sub> corresponds to the speed at the last completed stage [22].

### 2.5. Statistical analysis

Standard statistical methods were used for the calculation of mean ± SD, separately for each group as well as for all the runners grouped together (3G<sub>r</sub>). Pearson product–moment correlations were used to assess the relationships between variables. Normality of data was checked using the Shapiro–Wilk test. Student's *t*-test for paired sample was used to compare the differences between both tests. Absolute agreement between tests was determined using limits of agreement analysis (Bland–Altman plot). The reproducibility was assessed using the coefficient of variation (CV) and the intraclass correlation coefficient (ICC). Statistical significance was set at  $P < 0.05$ . Statistical analyses were performed using SPSS version 20.0 for Windows (SPSS Inc., IBM, Chicago, USA).

## 3. Results

The total duration of Test<sub>VAM</sub> was  $3.0 \pm 0.7$ ,  $2.5 \pm 1.7$ , and  $2.5 \pm 1.1$  times longer for G1, G2, G3 than Test<sub>3L</sub> respectively ( $P < 0.01$ , Table 2). Figs. 1–4A show the linear regressions between MAS values obtained with both tests for 3G<sub>r</sub> and

**Table 2** Physiological characteristics and the performance realised during both tests (part 2).

Tests and variables	3Gr (n=43)	Beginners (n=22)	Trained (n=14)	Elite (n=7)
<b>MAS (km.h<sup>-1</sup>)</b>				
Test <sub>3L</sub>	15.8 ± 2.7	13.8 ± 0.6	16.5 ± 0.5	21.1 ± 0.8
Test <sub>VAM</sub>	16.1 ± 2.5	14.0 ± 0.3	16.9 ± 0.8	20.9 ± 0.5
CC	0.93	0.27	-0.68	0.28
P	0.098	0.056	0.205	0.422
Retest <sub>3L</sub>	15.9 ± 2.6	13.8 ± 0.6	16.5 ± 0.4	21.0 ± 0.7
CC test–retest reliability	0.99	0.97	0.87	0.99
ICC test–retest reliability	0.99	0.96	0.85	0.98
CI 95%	(0.995–0.999)	(0.92–0.98)	(0.61–0.95)	(0.85–0.99)
CV (%) test–retest reliability	16.9	5.0	2.6	3.7
<b>HRmax (bpm)</b>				
Test <sub>3L</sub>	192.4 ± 3.3	193.9 ± 3.8	191.0 ± 2.2	190.7 ± 1.3
Test <sub>VAM</sub>	193.0 ± 3.4	194.3 ± 3.7	191.8 ± 2.7	191.4 ± 1.7
Theoretical HRmax	201.7 ± 2.2	202.9 ± 1.7	201.5 ± 0.6	198.2 ± 1.8
CC	0.82	0.79	0.83	0.48
P	0.054	0.389	0.068	0.283
Retest <sub>3L</sub>	192.6 ± 3.6	193.9 ± 3.8	191.8 ± 2.5	190.2 ± 3.4
CC test–retest reliability	0.85	0.86	0.81	0.80
ICC test–retest reliability	0.84	0.86	0.80	0.55
CI 95%	(0.73–0.91)	(0.70–0.94)	(0.49–0.93)	(-0.24–0.90)
CV (%) test–retest reliability	1.8	2.0	1.2	0.7
<b>LA (mmol.L<sup>-1</sup>)</b>				
Test <sub>3L</sub>	10.7 ± 1.5	9.4 ± 0.6	11.7 ± 0.3	13.1 ± 0.2
Test <sub>VAM</sub>	11.1 <sup>a</sup> ± 1.5	9.7 <sup>a</sup> ± 0.8	11.9 <sup>a</sup> ± 0.3	13.4 <sup>a</sup> ± 0.3
CC	0.97	0.80	0.87	0.64
P	P < 0.01	0.001	P < 0.01	0.020
Retest <sub>3L</sub>	10.8 ± 1.5	9.5 ± 0.7	11.7 ± 0.5	13.1 ± 0.2
CC test–retest reliability	0.97	0.80	0.91	0.89
ICC test–retest reliability	0.96	0.79	0.88	0.85
CI 95%	(0.95–0.98)	(0.57–0.91)	(0.68–0.96)	(0.38–0.97)
CV (%) test–retest reliability	14.2	6.7	3.3	1.7
<b>Total duration (min)</b>				
Test <sub>3L</sub>	–	4.0 ± 0.0	7.0 ± 0.0	10.0 ± 0.0
Test <sub>VAM</sub>	–	12.1 <sup>b</sup> ± 0.7	17.9 <sup>b</sup> ± 1.7	25.7 <sup>b</sup> ± 1.1

P: P value; CV (%): coefficient of variation; CC: correlation coefficient; ICC: intraclass correlation coefficient; CI 95%: the 95% confidence interval; MAS: maximal aerobic speed; HRmax: maximum heart rate; LA: blood lactate concentration; Test<sub>3L</sub>: three-level test; Test<sub>VAM</sub>: VAM-EVAL test.

<sup>a</sup> Significant difference ( $P < 0.05$ ).

<sup>b</sup> Significant difference ( $P < 0.01$ ).

for each group separately. No significant MAS differences were found between the two tests for 3Gr or for each group taken individually. The high value of the correlation coefficient calculated from MAS<sub>3L</sub> and MAS<sub>VAM</sub> for 3Gr ( $r = 0.93$ ;  $P < 0.05$ ) shows that these two MAS were linked to each other, despite slightly lower correlations for groups 1 and 3 (Table 2). Similarly, systematic biases (0.24 km.h<sup>-1</sup> for 3Gr; 0.27 km.h<sup>-1</sup> for G1; 0.45 km.h<sup>-1</sup> for G2; -0.28 km.h<sup>-1</sup> for G3) and limits of agreement (-2.08–2.08 km.h<sup>-1</sup> for 3Gr; -0.96–1.51 km.h<sup>-1</sup> for G1; -2.05–2.96 km.h<sup>-1</sup> for G2; -2.01–1.43 km.h<sup>-1</sup> for G3) are low.

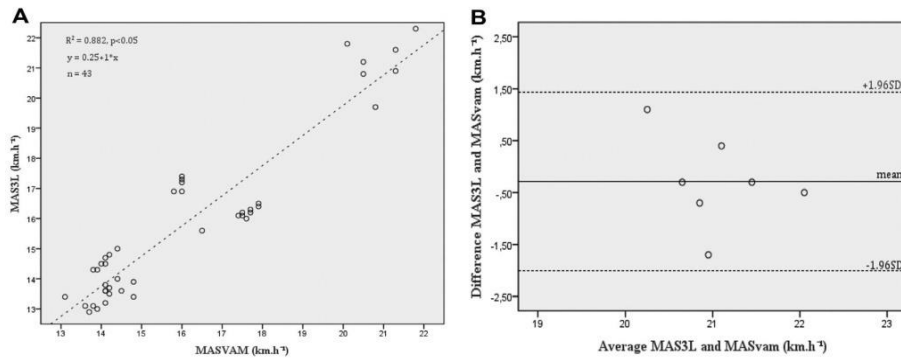
No significant HRmax differences were found between Test<sub>3L</sub> and Test<sub>VAM</sub>. HRmax corresponded to 95%, 94%, 96%, 95% of the theoretical HRmax for 3Gr, G1, G2, G3 during Test<sub>3L</sub> (Table 2). However, blood lactate concentrations at the end of Test<sub>VAM</sub> were significantly higher than that measured at the end of Test<sub>3L</sub> (Table 2).

No significant difference was found when comparing the two Test<sub>3L</sub>. Whatever the group, MAS, HRmax and LA were very close with low coefficients of variation (Table 2). Thus, the intraclass correlation coefficient calculated for 3Gr illustrates a high level of test–retest reliability. The reliability for the 3 groups was also excellent (Table 2).

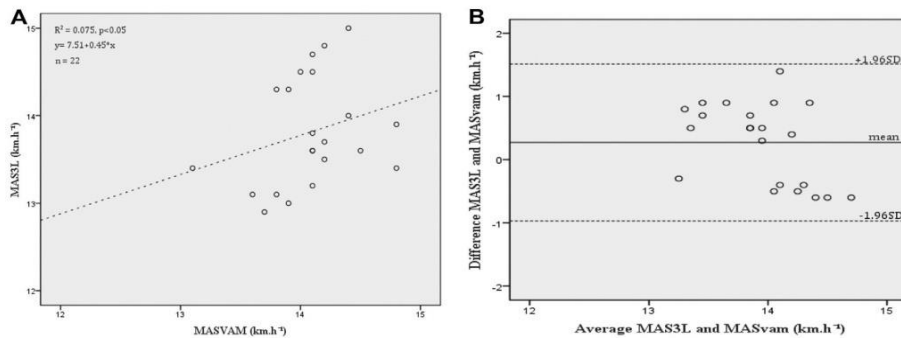
#### 4. Discussion

The main objective of the present study was to evaluate the reliability and reproducibility of MAS obtained with a new intermittent running test (Test<sub>3L</sub>) compared to a traditional test (Test<sub>VAM</sub>) [22], in three populations of runners with different training and performance characteristics. To our knowledge, no previously reported MAS test explicitly took into account the a priori performance level of the

S. Benhammou, L. Mourot, M.I. Mokkedes et al.



**Figure 1** A. Linear regression between MAS<sub>3L</sub> and MAS<sub>VAM</sub> (3G<sub>r</sub>). B. Analysis of Bland–Altman plot of MAS obtained with Test<sub>3L</sub> and Test<sub>VAM</sub>. The dashed lines indicate 95% limits of agreement (3G<sub>r</sub>).



**Figure 2** A. Linear regression between MAS<sub>3L</sub> and MAS<sub>VAM</sub> (G1). B. Analysis of Bland–Altman plot of MAS obtained in Test<sub>3L</sub> and Test<sub>VAM</sub>. The dashed lines indicate 95% limits of agreement (G1).

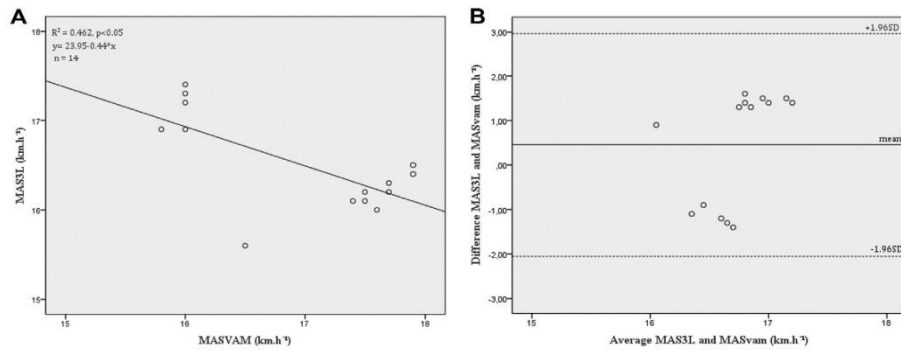
tested runner. Yet, this represents a concept often overlooked by coaches: the adaptation of a testing procedure to the tested participant. The results showed that the MAS values obtained were not significantly different for each group taken individually or as a whole. Similarly, no differences in HR<sub>max</sub> were observed, despite the significantly lower end of effort lactatemia with Test<sub>3L</sub>.

In our study, the difference between MAS<sub>3L</sub> and MAS<sub>VAM</sub> varied from 0.2 km.h<sup>-1</sup> to 0.4 km.h<sup>-1</sup> on average. The MASs were very similar, given that 28 out of 43 athletes (or 2/3) have a gap of less than 1 km.h<sup>-1</sup>, with a risk of overall error that never exceeded 1.7 km.h<sup>-1</sup>. Similar to our observations, Berthon et al. [7] showed that the mean MAS obtained from a 5-min running field test (14.8 km.h<sup>-1</sup>) was not significantly different from the UM–TT (14.6 km.h<sup>-1</sup>). Carminatti et al. [24] have found similar MAS values by comparing an intermittent progressive test (Carminatti test) and the VAM-EVAL test, with a very high correlation ( $r = 0.98$ ). Similarly, Bellenger et al. [18] compared the MAS obtained in the UM–TT and MAS through set distance time-trials between 1.600 and 2.200 m. The authors found no significant difference between the two tests. Furthermore, in our study,

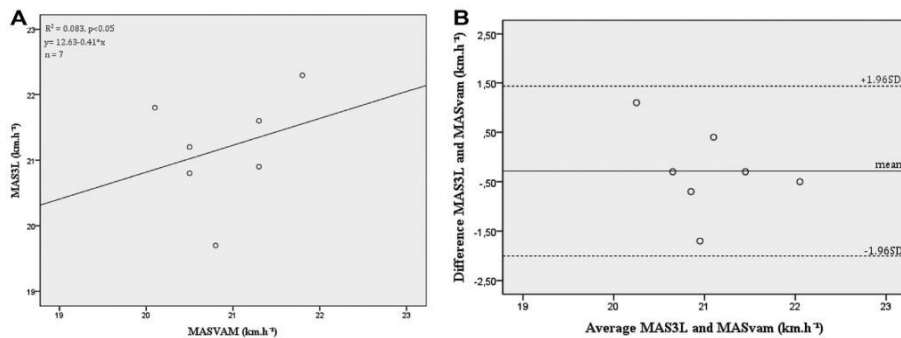
Bland–Altman's analysis showed an acceptable concordance in training process between MAS<sub>3L</sub> and MAS<sub>VAM</sub> (Figs. 1–4B), with 95% of the differences found to be within the limits of agreement of  $\pm 2$  km.h<sup>-1</sup>. These limits are greater than those reported by Carminatti et al. [24] which showed that the individual variation was about  $\pm 0.5$  km.h<sup>-1</sup> of the reference value.

In the present study, HR<sub>max</sub> obtained during Test<sub>3L</sub> was not significantly different from HR<sub>max</sub> obtained during Test<sub>VAM</sub>. These values were significantly related (Table 2), and were close to the maximal theoretical value, in accordance with the fact that such a test should be near maximal [29,30]. This result was in line with those of Berthon et al. [7] who found that the HR<sub>max</sub> obtained in a 5-min running field test ( $191.8 \pm 8.1$  bpm) was similar to that obtained from the UM–TT ( $192.6 \pm 7.7$  bpm), and of Dupont et al. [31] who found similar values comparing the UM–TT ( $192.3 \pm 8.0$  bpm) and Yo-Yo intermittent recovery test ( $191.4 \pm 7.8$  bpm). All correlations presented in Table 2 confirm that Test<sub>3L</sub> can be used to determine the HR<sub>max</sub>.

Blood lactate is also a commonly used indicator to find out if exercise was carried maximally [30]. The results of



**Figure 3** A. Linear regression between MAS<sub>3L</sub> and MAS<sub>VAM</sub> (G2). B. Analysis of Bland–Altman plot of MAS obtained in Test<sub>3L</sub> and Test<sub>VAM</sub>. The dashed lines indicate 95% limits of agreement (G2).



**Figure 4** A. Linear regression between MAS<sub>3L</sub> and MAS<sub>VAM</sub> (G3). B. Analysis of Bland–Altman plot of MAS obtained in Test<sub>3L</sub> and Test<sub>VAM</sub>. The dashed lines indicate 95% limits of agreement (G3).

this work showed that the mean lactate values are 0.2 to 0.4 mmol higher with Test<sub>VAM</sub> than with Test<sub>3L</sub>. This small significant difference can be explained by several factors. Indeed, an increase in the speed of 0.5 km.h<sup>-1</sup> between two levels during Test<sub>VAM</sub> penalised athletes at the end of the race, in soliciting “abruptly” lactic glycolysis to face this sudden increase in race speed. In addition, Test<sub>VAM</sub> duration is longer than Test<sub>3L</sub>, involving the anaerobic glycolysis at a higher level and favouring the accumulation of blood lactate. The most important factor may be the recovery between each minute of the race in Test<sub>3L</sub>. It is known that integration of an active recovery during intermittent exercise decreases lactate dissemination and promotes aerobic glycolysis [32]. The fact that the same MAS values were reached with lower lactatemia during Test<sub>3L</sub> pointed out that this test may be less burdensome for the runner and that the latter can repeat the test more frequently during the training process.

Therefore, the results of our study showed that Test<sub>3L</sub> was reliable for measuring MAS. This new test appeared as a valid alternative to traditional track tests, which are generally longer. Indeed, with Test<sub>VAM</sub>, a well-trained subject can run more than 25 min while a beginner runs less than 11 min,

as observed in this study. The advantage of the Test<sub>VAM</sub> is that the first stages are used as a warm-up (time that must be added to our test). But, the distinct disadvantage is that the duration and intensity of the warm-up which corresponds to the first stages of the Test<sub>VAM</sub> vary with physical fitness. Indeed, the less trained a subject, the shorter and more intense the warm-up. The same observation has also been reported by Berthon et al. [7] while performing the UM-TT. Thus, compared to the Test<sub>VAM</sub>, the differences in race time between the Test<sub>3L</sub> and Test<sub>VAM</sub> can be considerable. Based on our study, Test<sub>3L</sub> is more or less 2.5 times shorter than Test<sub>VAM</sub>. It is thus easier to use it repeatedly during the training routine. It was well known that the test itself produces fatigue, and therefore must not overstep certain limits [7]. Another advantage of Test<sub>3L</sub> is that it is not based on the use of a beep sound and several runners could be tested at a time, creating emulation that faithfully reproduces the running competition.

The choice of the duration of each level in Test<sub>3L</sub> was proposed in reference to the time limit at MAS (T<sub>lim</sub> at MAS) [33]. It is known that T<sub>lim</sub> at MAS is correlated with the MAS [34], although there is wide inter-individual variability [6,35]. The running times (3 to 7 min) proposed in our study

S. Benhammou, L. Mourrot, M.I. Mokkedes et al.

were consistent with the  $T_{lim}$  at MAS values reported by Billat and Koralsztein [6] (between 3 and 9 min) or Billat et al. [35] (between 2 min 30s and 10 min), and respect the inter-individual differences. Our three levels test creates a link between the athlete's potential and the measurement method of MAS, which makes it more individualised, unlike  $Test_{VAM}$ .

The second purpose was to check the reproducibility of  $Test_{3L}$ . Clinical studies have suggested that tests, with CV values of less than 10% and CCI above 0.75, should be considered as capable of determining practical acceptance of clinical variations [36]. In our study, the CV and ICC test–retest values for MAS showed that  $Test_{3L}$  is sufficiently reproducible for all three levels. This reproducibility was similar to other studies (CV = 2.7–4.9%, ICC = 0.81–0.93) [23,37,38]. Another important result of this study is the good reproducibility of HRmax slightly smaller than that observed in the Carminatti test [37] (CV = 2.0–2.5%) for young players (U12 and U14). In addition, lactatemia has also a high reproducibility, with CV values lower than that observed for the 45–15 test [39] (CV = 22.7%).

## 5. Conclusions

In conclusion, the three-level test allowed obtaining a reproducible MAS comparable to a traditional test, such as VAM-EVAL. Hence, MAS, as well as maximum heart rate derived from  $Test_{3L}$ , could be used when designing training programs. However, caution must be taken with regard to lactatemia. In addition,  $Test_{3L}$  had a high reproducibility. Although this study highlights the importance of  $Test_{3L}$ , it should be considered as preliminary and further studies are to be conducted in order to complete the validation of this test.

## Disclosure of interest

The authors declare that they have no competing interest.

## Acknowledgements

The authors gratefully acknowledge Directorate General for Scientific Research and Technological Development (DG–RSDT) and all the volunteers for their cooperation.

## References

- [1] di Prampero PE, Atchou G, Brückner JC, Moia C. The energetics of endurance running. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1986;55:259–66.
- [2] Morgan DW, Baldini FD, Martin PE, Kohrt WM. Ten-kilometre performance and predicted velocity at  $VO_{2max}$  among well-trained male runners. *Med Sci Sports Exerc* 1989;21:78–83.
- [3] Lacour JR, Candau R. Vitesse maximale aérobie et performance en course à pied. *Sci Sports* 1990;5:183–9, [http://dx.doi.org/10.1016/S0765-1597\(05\)80216-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0765-1597(05)80216-3).
- [4] Lacour JR, Padilla-Magunacelaya S, Chatard JC, Arsac L, Barthélémy JC. Assessment of running velocity at maximal oxygen uptake. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1991;62:77–82.
- [5] Billat LV. Use of blood lactate measurements for prediction of exercise performance and for control of training. Recommendations for long-distance running. *Sports Med* 1996;22:157–75, <http://dx.doi.org/10.2165/00007256-199622030-00003>.
- [6] Billat LV, Koralsztein JP. Significance of the velocity at  $VO_{2max}$  and time to exhaustion at this velocity. *Sports Med* 1996;22:90–108, <http://dx.doi.org/10.2165/00007256-199622020-00004>.
- [7] Berthon P, Fellmann N, Bedu M, Beaune B, Dabonneville M, Coudert J, et al. A 5-min running field-test as a measurement of maximal aerobic velocity. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1997;75:233–8, <http://dx.doi.org/10.1007/s004210050153>.
- [8] Grant S, Craig I, Wilson J, Aitchison T. The relationship between 3km running performance and selected physiological variables. *J Sports Sci* 1997;15:403–10, <http://dx.doi.org/10.1080/026404197367191>.
- [9] Jones AM, Carter H. The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports Med* 2000;29:373–86, <http://dx.doi.org/10.2165/00007256-200029060-00001>.
- [10] Ali Almarwaey O, Mark Jones A, Tolfrey K. Physiological correlates with endurance running performance in trained adolescents. *Med Sci Sports Exerc* 2003;35:480–7, <http://dx.doi.org/10.1249/01.MSS.0000053723.16531.D0>.
- [11] McLaughlin JE, Howley ET, Bassett DR, Thompson DL, Fitzhugh EC. Test of the classic model for predicting endurance running performance. *Med Sci Sports Exerc* 2010;42:991–7, <http://dx.doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181c0669d>.
- [12] Padilla S, Bourdin M, Barthélémy JC, Lacour JR. Physiological correlates of middle-distance running performance. A comparative study between men and women. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1992;65:561–6.
- [13] Dupont G, Blondel N, Lensele G, Berthoin S. Critical velocity and time spent at a high level of  $VO_2$  for short intermittent runs at supramaximal velocities. *Can J Appl Physiol* 2002;27:103–15.
- [14] Billat V, Berthoin S, Blondel N, Gerbeaux M. La vitesse à  $VO_2$  max, signification et applications en course à pied. *Staps* 2001;54:45–61.
- [15] Berthoin S, Gerbeaux M, Turpin E, Guerrin F, Lensele-Corbeil G, Vandendorpe F. Comparison of two field tests to estimate maximum aerobic speed. *J Sports Sci* 1994;12:355–62, <http://dx.doi.org/10.1080/02640419408732181>.
- [16] Ahmaidi S, Adam B, Préfaut C. Validité des épreuves triangulaires de course navette de 20-m et de course sur piste pour l'estimation de la consommation maximale d'oxygène du sportif. *Sci Sports* 1990;5:71–6, [http://dx.doi.org/10.1016/S0765-1597\(05\)80208-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0765-1597(05)80208-4).
- [17] Paradisis GP, Zacharogiannis E, Mandila D, Smirtiotou A, Argeitaki P, Cooke CB. Multi-stage 20-m shuttle run fitness test, maximal oxygen uptake and velocity at maximal oxygen uptake. *J Hum Kinet* 2014;41:81–7, <http://dx.doi.org/10.2478/hukin-2014-0035>.
- [18] Bellenger CR, Fuller JT, Nelson MJ, Hartland M, Buckley JD, DeBenedictis TA. Predicting maximal aerobic speed through set distance time-trials. *Eur J Appl Physiol* 2015;115:2593–8, <http://dx.doi.org/10.1007/s00421-015-3233-6>.
- [19] Los Arcos A, Vázquez JS, Villagra F, Martín J, Lerga J, Sánchez F, et al. Assessment of the maximal aerobic speed in young elite soccer players: université de Montréal Track Test (UM–TT) vs. treadmill test. *Sci Sports* 2019, <http://dx.doi.org/10.1016/j.scispo.2019.03.010>.
- [20] Léger L, Boucher R. An indirect continuous running multistage field test: the Université de Montréal track test. *Can J Appl Sport Sci* 1980;5:77–84.
- [21] Léger L, Lambert J, Goulet A, Rowan C, Dinelle Y. Aerobic capacity of 6 to 17-year-old Quebecois – 20-metre shuttle run test with 1 minute stages. *Can J Appl Sport Sci* 1984;9:64–9.

- [22] Cazoria G. Field tests to evaluate aerobic capacity and maximal aerobic speed. *Proceedings of the International Symposium of Guadeloupe*; 1990. p. 151–73.
- [23] Krustup P, Mohr M, Amstrup T, Rysgaard T, Johansen J, Steensberg A, et al. The yo-yo intermittent recovery test: physiological response, reliability, and validity. *Med Sci Sports Exerc* 2003;35:697–705, <http://dx.doi.org/10.1249/01.MSS.0000058441.94520.32>.
- [24] Carminatti LJ, Possamai CAP, de Moraes M, da Silva JF, de Lucas RD, Dittrich N, et al. Intermittent versus continuous incremental field tests: are maximal variables interchangeable? *J Sports Sci Med* 2013;12:165–70.
- [25] Viale F, Ranggeh D, Nana-Ibrahim S, Martin R, Laschet F. Élaboration d'un nouveau protocole incrémental en rampe pour estimer la vitesse maximale aérobie en course à pied. *Sci Sports* 2007;22:170–2, <http://dx.doi.org/10.1016/j.scispo.2007.04.007>.
- [26] Pallarés JG, Cerezuela-Espejo V, Morán-Navarro R, Martínez-Cava A, Conesa E, Courel-Ibáñez J. A new short track test to estimate the  $\dot{V}O_2$ max and maximal aerobic speed in well-trained runners. *J Strength Cond Res* 2019;33:1216–21, <http://dx.doi.org/10.1519/JSC.0000000000003121>.
- [27] García GC, Secchi JD. Relación de las velocidades finales alcanzadas entre el course navette de 20 metros y el test de VAM-EVAL. Una propuesta para predecir la velocidad aeróbica máxima. *Apunts Med Esport* 2013;48:27–34, <http://dx.doi.org/10.1016/j.apunts.2011.11.004>.
- [28] Cerezuela-Espejo V, Courel-Ibáñez J, Morán-Navarro R, Martínez-Cava A, Pallarés JG. The relationship between lactate and ventilatory thresholds in runners: validity and reliability of exercise test performance parameters. *Front Physiol* 2018;9, <http://dx.doi.org/10.3389/fphys.2018.01320>.
- [29] Fraïsse F, Desnus B, Handschuh R, Jousselein E, Strady M, Thomaidis M. La consommation maximale d'oxygène des sportifs de haut niveau de moins de 20 ans. *Sci Sports* 1991;6:25–35, [http://dx.doi.org/10.1016/S0765-1597\(05\)80232-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0765-1597(05)80232-1).
- [30] Howley ET, Bassett DR, Welch HG. Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *Med Sci Sports Exerc* 1995;27:1292–301.
- [31] Dupont G, Defontaine M, Bosquet L, Blondel N, Moalla W, Berthoin S. Yo-Yo intermittent recovery test versus the Université de Montréal track test: relation with a high-intensity intermittent exercise. *J Sci Med Sport* 2010;13:146–50, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsams.2008.10.007>.
- [32] Dorado C, Sanchis-Moysi J, Calbet JAL. Effects of recovery mode on performance,  $O_2$  uptake, and  $O_2$  deficit during high-intensity intermittent exercise. *Can J Appl Physiol* 2004;29:227–44.
- [33] Billat V, Renoux J, Pinoteau J, Petit B, Koralsztein J. Validation d'une épreuve maximale de temps limite à VMA (vitesse maximale aérobie) et à  $\dot{V}O_2$  max. *Sci Sports* 1994;9:135–43, [http://dx.doi.org/10.1016/S0765-1597\(05\)80274-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0765-1597(05)80274-6).
- [34] Blondel N, Billat V, Berthoin S. Relation entre le temps limite de course et l'intensité relative de l'exercice, exprimée en fonction de la vitesse critique et de la vitesse maximale. *Sci Sports* 2000;15:242–4, [http://dx.doi.org/10.1016/S0765-1597\(00\)80034-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0765-1597(00)80034-9).
- [35] Billat V, Renoux JC, Pinoteau J, Petit B, Koralsztein JP. Times to exhaustion at 100% of velocity at  $\dot{V}O_2$ max and modelling of the time-limit/velocity relationship in elite long-distance runners. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1994;69:271–3.
- [36] Coppieters M, Stappaerts K, Janssens K, Jull G. Reliability of detecting "onset of pain" and "submaximal pain" during neural provocation testing of the upper quadrant. *Physiother Res Int* 2002;7:146–56.
- [37] Teixeira AS, da Silva JF, Carminatti LJ, Dittrich N, Castagna C, Guglielmo LGA. Reliability and validity of the Carminatti's test for aerobic fitness in youth soccer players. *J Strength Cond Res* 2014;28:3264–73, <http://dx.doi.org/10.1519/JSC.0000000000000534>.
- [38] Manouvrier C, Cassirame J, Ahmadi S. Proposal for a specific aerobic test for football players: the "Footeval". *J Sports Sci Med* 2016;15:670–7.
- [39] Castagna C, Iellamo F, Impellizzeri FM, Manzi V. Validity and reliability of the 45–15 test for aerobic fitness in young soccer players. *Int J Sports Physiol Perform* 2014;9:525–31, <http://dx.doi.org/10.1123/ijssp.2012.0165>.





Original



## The 180/20 intermittent athletic test: A new intermittent track test to assess the maximal aerobic speed in middle-distance runners

S. Benhammou <sup>a\*</sup>, L. Mourot <sup>b,c</sup>, J. Coquart <sup>d</sup>, A. Belkadi <sup>a</sup>, M.I. Mokkedes <sup>a</sup>, A. Bengoua <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Laboratory for Optimizing Research Programmes on Physical and Sports, Institute of Sports and Physical Education, Abdelhamid Ibn Badis University of Mostaganem, Algeria.

<sup>b</sup> Research Unit EA3920, Prognostic Factors and Regulatory Factors of Cardiac and Vascular Pathologies, Exercise Performance Health Innovation Platform, University of Bourgogne Franche-Comté, Besançon, France.

<sup>c</sup> Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia.

<sup>d</sup> University of Rouen Normandy, UFR STAPS.

ARTICLE INFORMATION: Received 16th February 2021, accepted 6th August 2021, online 6th August 2021

### ABSTRACT

**Objective:** The training of middle-distance runners is based on intermittent exercises. However, no study has proposed intermittent test to assess endurance performance for middle-distance athletes. The aims of the present study are 1) to develop a new specific testing for middle-distance runners entitled the 180/20 intermittent athletic test and to examine the validity of this test as compared to a standard continuous test 2) to check whether the maximal aerobic speed obtained from the 180/20 intermittent athletic test is related to the 800-m performance.

**Methods:** Nineteen male middle-distance runners (age:  $21.3 \pm 2.2$  years, height:  $1.75 \pm 0.04$  m, and body mass:  $68.8 \pm 3.8$  kg) performed in a random order three field-tests: a standard test, the 180/20 intermittent athletic test and 800-m time-trial. The new test consisted of repeated 180m distance runs interspersed with 20m of active recovery performed until exhaustion. The speed is increased by  $0.5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  every 200 m.

**Results:** The results of this study showed the maximal aerobic speed achieved during the new test was significantly correlated to the maximal aerobic speed determined from a standard test ( $r=0.82$ ,  $p<0.05$ ) with low agreement limits ( $-1.69$ – $1.48 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) without systematic bias ( $-0.10 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ). The maximal aerobic speed in new test was better correlated to the 800-m running performance than the maximal aerobic speed achieved during a standard test ( $r=0.78$  and  $r=-0.66$ , respectively).

**Conclusions:** The 180/20 intermittent athletic test is a valid test for scheduling intermittent training sessions in middle-distance runners.

**Keywords:** Intermittent exercise; Maximal aerobic speed; Field test; Time trial; Running performance.

## El test atlético intermitente 180/20: Una nueva prueba de pista intermitente para evaluar la velocidad aeróbica máxima en los corredores de media distancia

### RESUMEN

**Objetivo:** El entrenamiento de los corredores de media distancia se basa en ejercicios intermitentes. Sin embargo, ningún estudio ha propuesto pruebas intermitentes para evaluar el rendimiento de resistencia para atletas de media distancia. Los objetivos del presente estudio son 1) desarrollar una nueva prueba específica para corredores de media distancia denominada prueba atlética intermitente 180/20 y examinar la validez de esta prueba en comparación con una prueba continua estándar 2) verificar si el máximo la velocidad aeróbica obtenida de la prueba atlética intermitente 180/20 está relacionada con el rendimiento de 800 m.

**Método:** Diecinueve corredores de media distancia masculinos (edad:  $21,3 \pm 2,2$  años, altura:  $1,75 \pm 0,04$  m y masa corporal:  $68,8 \pm 3,8$  kg) realizaron en orden aleatorio tres pruebas de campo: una prueba estándar, la prueba intermitente 180/20 prueba atlética y contrarreloj de 800 m. La nueva prueba consistió en recorridos repetidos de 180 m intercalados con 20 m de recuperación activa realizados hasta el agotamiento. La velocidad se incrementa en  $0,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  cada 200 m.

**Resultados:** Los resultados de este estudio mostraron que la velocidad aeróbica máxima alcanzada durante el nuevo test se correlacionó significativamente con la velocidad aeróbica máxima determinada a partir de un test estándar ( $r=0,82$ ,  $p<0,05$ ) con límites de concordancia bajos ( $-1,69$ – $1,48 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) sin sesgo sistemático ( $-0,10 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ). La velocidad aeróbica máxima en la nueva prueba se correlacionó mejor con el rendimiento de carrera de 800 m que la velocidad aeróbica máxima alcanzada durante una prueba estándar ( $r=0,78$  y  $r=-0,66$ , respectivamente).

**Conclusiones:** El test atlético intermitente 180/20 es un test válido para la programación de entrenamientos intermitentes en corredores de media distancia.

**Palabras clave:** Ejercicio intermitente; Velocidad aeróbica máxima; Test de campo; Contrarreloj; Rendimiento de carrera.

\* Corresponding author.

E-mail-address: [saddek.benhammou@univ-mosta.dz](mailto:saddek.benhammou@univ-mosta.dz) (S. Benhammou).

<https://doi.org/10.33155/j.ramd.2021.08.001>

© 2022 Consejería de Educación y Deporte de la Junta de Andalucía. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

## O teste atlético intermitente 180/20: Um novo teste intermitente de pista para avaliar a velocidade aeróbia máxima nos corredores de meia distância

### RESUMO

**Objetivo:** O treinamento de corredores de meio-fundo é baseado em exercícios intermitentes. No entanto, nenhum estudo propôs teste intermitente para avaliar o desempenho de resistência para atletas de meia-distância. Os objetivos do presente estudo são 1) desenvolver um novo teste específico para corredores de meio-fundo intitulado teste atlético intermitente 180/20 e examinar a validade deste teste em comparação com um teste contínuo padrão 2) verificar se a velocidade aeróbia obtida no teste atlético intermitente de 180/20 está relacionada ao desempenho de 800 m.

**Métodos:** Dezenove corredores de meio-fundo do sexo masculino (idade:  $21,3 \pm 2,2$  anos, estatura:  $1,75 \pm 0,04$  m e massa corporal:  $68,8 \pm 3,8$  kg) realizaram em ordem aleatória três testes de campo: um teste padrão, o teste intermitente 180/20 teste atlético e contra-relógio de 800 m. O novo teste consistiu em corridas repetidas de 180m intercaladas com 20m de recuperação ativa realizada até a exaustão. A velocidade é aumentada em  $0,5$  km.h<sup>-1</sup> a cada 200 m.

**Resultados:** Os resultados deste estudo mostraram que a velocidade aeróbia máxima alcançada durante o novo teste foi significativamente correlacionada com a velocidade aeróbia máxima determinada a partir de um teste padrão ( $r=0,82$ ,  $p<0,05$ ) com limites de concordância baixos ( $-1,69$ – $1,48$  km. h<sup>-1</sup>) sem viés sistemático ( $-0,10$  km.h<sup>-1</sup>). A velocidade aeróbia máxima em novo teste foi melhor correlacionada com o desempenho de corrida de 800 m do que a velocidade aeróbia máxima alcançada durante um teste padrão ( $r=0,78$  e  $r=-0,66$ , respectivamente).

**Conclusões:** O teste atlético intermitente 180/20 é um teste válido para o agendamento de sessões de treinamento intermitente em corredores de meio-fundo.

**Palavras-chave:** Exercício intermitente; Velocidade aeróbia máxima; Teste de campo; Contra-relógio; Desempenho de corrida.

### Introduction

The maximal aerobic speed (MAS) is a crucial factor for predicting the performance of middle-distance<sup>1</sup> and long-distance running.<sup>2</sup> It is well established that MAS is a great tool for coaches to prescribe adequate training loads.<sup>3-4</sup> However, although several valid and reliable incremental field tests have been developed to determine MAS, these tests do not always consider the specificity of the different sports disciplines and the evolution of training methods.

Various tests have been proposed to determine MAS during laboratory or field testing.<sup>3</sup> The VAM-EVAL test (VAM-T)<sup>4</sup> is one of the most frequently used tests to determine MAS. The test protocol starts at a speed of  $8.5$  km·h<sup>-1</sup> and increases by  $0.5$  km·h<sup>-1</sup> every minute until exhaustion. This test was proposed for aerobic metabolism (i.e., metabolism with preponderance of the oxidative phosphorylation pathway) evaluation during running<sup>5</sup> and rely on a prolonged continuous bout of running. However, this effort is radically different from that done during daily training in middle-distance runners.

Indeed, while middle- and long-distance running performance is continuous in nature, it is well known that runners, and especially middle-distance runners, practice mainly fast intermittent exercises involving a major contribution from anaerobic energy sources<sup>6</sup> compared with long-distance runners who practice more continuous exercise of lower intensity to develop aerobic capacity.<sup>2</sup> Nevertheless, the evaluation of the MAS is done practically using often the same type of tests (continuous incremental tests) in both middle- and long-distance runners. It is however necessary that the type of muscle work performed during the test should be well related to both the runner's performance and the type of exercise performed during training.<sup>8</sup> It would thus be more appropriate that the MAS determination test rely on the actual efforts (i.e., short intermittent exercises) produced by middle-distance runners, since it can be used as a reference for intermittent training.

On the other hand, in the past 2 decades, a particular attention was paid to incremental intermittent testing to determine aerobic metabolism performance, but mainly in team sports.<sup>8-11</sup> These tests are often composed of shuttle runs, with changes of direction. However, this type of testing appears somewhat inappropriate for middle-distance athletes who perform straight-line running during the competitions (i.e. without direction change) and practice intermittent running in their training

sessions. To our knowledge, no intermittent straight-line running test to assess especially aerobic metabolism performance in middle-distance runners has been proposed.

Therefore, the aims of the present study were: 1) to develop a new specific testing entitled the 180/20 intermittent athletic test (180/20<sub>AT</sub>) for middle-distance runners, and to examine the validity of this test, 2) to check that the MAS obtained from the 180/20<sub>AT</sub> is related to the 800-m performance.

We hypothesize that the 180/20<sub>AT</sub> is valid and that the relationships between the MAS and the 800-m performance time will be stronger than the one obtained from the VAM-T.

### Method

#### Subject

Nineteen male middle-distance runners, regularly active (5 times/week) participated in the study. The age, height, body mass, body mass index (BMI) and years of training were  $21.3 \pm 2.2$  years,  $1.75 \pm 0.04$  m,  $68.8 \pm 3.8$  kg,  $22.3 \pm 0.9$  kg/m<sup>2</sup> and  $6.1 \pm 1.7$  years, respectively. All have been training in middle-distance running regularly for more than 4 years and were accustomed to intermittent exercises as part of their training. All subjects were notified of the research procedures and gave their written consent. The protocol was approved by ethics committee of the Institute of Sports and Physical Education and was performed according to the Helsinki Declaration.

#### Procedures

All the subjects were evaluated on three occasions on a 400 m tartan running track at least 72 hours apart and in a random order. Day 1: the VAM-T; day 4: the 180/20<sub>AT</sub>. To assess the relationship with performance during both tests, a 800-m time-trial performed on the 8<sup>th</sup> day was reflective of an athlete's current aerobic fitness. The tests were performed at the same hour of day after eating and under similar experimental conditions ( $18$ – $20^\circ\text{C}$ ,  $1.3$ – $1.5$  m.s<sup>-1</sup> runway wind speed measured by a weather station: PCE-AM81, PCE Instruments®, Strasbourg, France). All subjects were advised to refrain from smoking, caffeinated drinks and high-intensity exercise during the 48 hours prior to testing. Heart rate peak (HRpeak) was monitored telemetrically every 5s throughout the test (Polar S610i, Polar® Electro Oy, Kempele, Finland). Three minutes after each test, fingertip blood samples were collected in

order to measure blood lactate [La] by the Lactate Pro LT-1710 (Arkray®, Kyoto, Japan). These two parameters were used as exhaustion criteria.

#### VAM-EVAL test (VAM-T)

The VAM-T is a modified version of the University of Montreal Track (UM-TT).<sup>12</sup> The only relevant difference between the two tests is the distance between the cones placed along the 400 m track (i.e., 50m for UM-TT vs. 20m for VAM-T), thus allowing to adjust the speed between the cones to the sound signals, which makes the VAM-T easier to conduct to young athletes. The VAM-T is commonly used, which consisted to follow race speed controlled by audio beeps on a prerecorded file. Cones were placed every 20m along the track as a reference. The speed at the first stage was set at 8.5 km.h<sup>-1</sup> and increases by 0.5 km.h<sup>-1</sup> every minute until exhaustion. Participants had to reach cones on each beep and adjusted their running speed. The test ended when the subject was no longer capable of following the imposed speed. The MAS (abbreviated: MAS<sub>VAM-T</sub>) corresponds to the speed at the last completed stage.<sup>4</sup> The reliability of VAM-T has already been studied [CV was 3.5 % (90 % confidence limits: 3.0;4.1)].<sup>13</sup>

#### The 180/20 Intermittent Athletic Test(180/20<sub>IAT</sub>)

The 180/20<sub>IAT</sub> is a track running test adapted to the training mode of the middle distance runners (intermittent exercises), without changes of direction and which can be used as a training session. The test consisted of repeated short 180m distance runs interspersed with 20m active recovery periods performed until exhaustion (180/20). It takes place on a 400m athletics track (180/20 = 200 × 2 = 400m). The speed is imposed by an audio beep designed at the 180/20<sub>IAT</sub>. The latter issues “beep” at regular intervals. At each beep, the athlete should be at one of the cones placed on the track every 20 m. The test starts at a speed of 8 km.h<sup>-1</sup>. The speed is increased by 0.5 km.h<sup>-1</sup> every 200m, which corresponds to the successful overcoming of a level. Subjects were instructed to reach as many stages as possible and incomplete stage is not considered. The test stopped when the subject was at least 3m behind the appropriate cone at the moment of the audio signal on 2 consecutive times. The MAS (abbreviated: MAS<sub>180/20IAT</sub>) corresponds to the speed reached at the last completed stage.

#### 800 m time trial

Participants completed a 800m time trial on a 400 m tartan outdoor track, at least 72 hours following the 180/20<sub>IAT</sub>. Subjects

completed a 20 min warm-up in the following sequence: 10 min run, 5 m stretching and a 5 min up-tempo run. Participants were asked to run the distance in the shortest possible time and wore the same kind of garments (running shoes, lightweight t-shirts and light shorts). The time in seconds was collected after exercise.

#### Statistical analysis

The results are presented as mean ± standard deviation (SD). The assumption of normality was verified with the Shapiro-Wilk test. As data were normally distributed, parametric tests were used. In order to test the validity of 180/20<sub>IAT</sub>, the MAS and other characteristics (i.e., HR<sub>peak</sub> and [La]) between both tests (VAM-T vs 180/20<sub>IAT</sub>) were compared from Student's t-test for paired sample. Moreover, the relationships between MAS<sub>VAM-T</sub> and MAS<sub>180/20IAT</sub> was examined from Bravais and Pearson test, and quantified using Pearson correlation coefficient (*r*) and confidence intervals (95% CI). The correlation coefficients were interpreted in accordance with the thresholds proposed by Hopkins<sup>14</sup>: *r*<0.1, trivial; 0.1≤*r*<0.3, small; 0.3≤*r*<0.5, moderate; 0.5≤*r*<0.7, large; 0.7≤*r*<0.9, very large; and 0.9≤*r*<1, almost perfect. Furthermore, Bland and Altman plots were used to determine the bias and limits of agreement between MAS<sub>VAM-T</sub> and MAS<sub>180/20IAT</sub>. The relationship between 800-m running performance and MAS during each test has been examined from Bravais and Pearson test, and quantified using Pearson correlation coefficient. The level of statistical significance was set at *p*< 0.05. All statistical analyses were performed using SPSS for Windows 23.0 (SPSS Inc., IBM, Chicago, USA).

#### Results

A significant difference was found between the distance travelled during 180/20<sub>IAT</sub> and VAM-T (Table 1). However, a significant correlation was observed between the distance covered during both tests (*p* = 0.01, *r* = 0.71, likely very large).

No significant differences were found between MAS<sub>VAM-T</sub> and MAS<sub>180/20IAT</sub>. Moreover, no significant difference was noted for HR<sub>peak</sub> and [La] between the VAM-T and 180/20<sub>IAT</sub> (Table 1). MAS (*p*< 0.01, *r* = 0.82, CI 95%: 0.41–0.87, likely very large), HR<sub>peak</sub> (*p*< 0.02, *r* = 0.50, CI 95%: 0.04–0.67, likely moderate) and [La] (*p*< 0.01, *r* = 0.72, CI 95%: 0.34–1.00, likely very large) between both tests were significantly correlated.

Figure 2A shows the linear regression between MAS<sub>VAM-T</sub> and MAS<sub>180/20IAT</sub>, whereas Figure 2B presents the Bland and Altman plot of MAS obtained during both tests. Systematic bias (-0.10km.h<sup>-1</sup>) and limits of agreement (-1.69–1.48 km.h<sup>-1</sup>) are low.



Figure 1. Material organization of the 180/20 intermittent athletic test

**Table 1.** Physiological characteristics and the performance realized during both tests.

Variables	VAM-T	180/20 <sub>IAT</sub>	p
MAS (km.h <sup>-1</sup> )	19.1 ± 1.1	19.2 ± 1.4	0.57
HRpeak (bpm)	191.3 ± 2.2	191.8 ± 3.1	0.42
[La] (mmol.L <sup>-1</sup> )	11.3 ± 0.6	11.5 ± 0.7	0.08
Distance traveled (m)	5253 ± 705	4168 ± 520	

p: p value; MAS: maximal aerobic speed; HRpeak: the heart rate peak; [La]: blood lactate concentration; 180/20<sub>IAT</sub>: 180/20 intermittent athletic test; VAM-T: VAM-EVAL test. \*Significant difference ( $p < 0.05$ ).

The average time for the 800 m time trial was  $125 \pm 6$  s (range: 112–135s) which corresponds to a velocity of  $23 \text{ km.h}^{-1}$ . The velocity represented  $119.3 \pm 6.0\%$  (range: 108–133%) of the first MAS<sub>180/20IAT</sub>, and  $119.8 \pm 5.5\%$  (range: 108–129%) of MAS<sub>VAM-T</sub>. Significant relationships were found between 800-m performance and MAS<sub>180/20IAT</sub> and MAS<sub>VAM-T</sub>. Pearson's correlation showed a very large negative ( $r = -0.78, p < 0.01$ ) relationship between 800-m performance and MAS<sub>180/20IAT</sub> (Figure 3A), and large negative relationship ( $r = -0.66, p < 0.01$ ) between 800-m performance and MAS<sub>VAM-T</sub>. (Figure 3B).

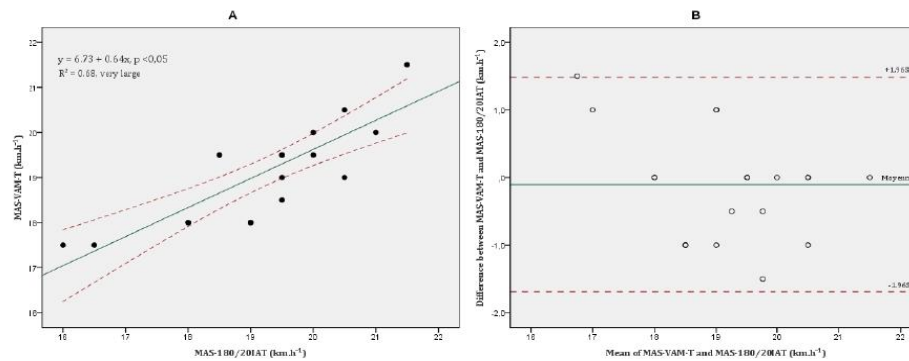
### Discussion

The aims of the present study were to develop and examine the validity of a new intermittent running test named the 180/20<sub>IAT</sub>, as well as to analyze the relationship between MAS<sub>180/20IAT</sub> and the 800-m performance in middle-distance runners.

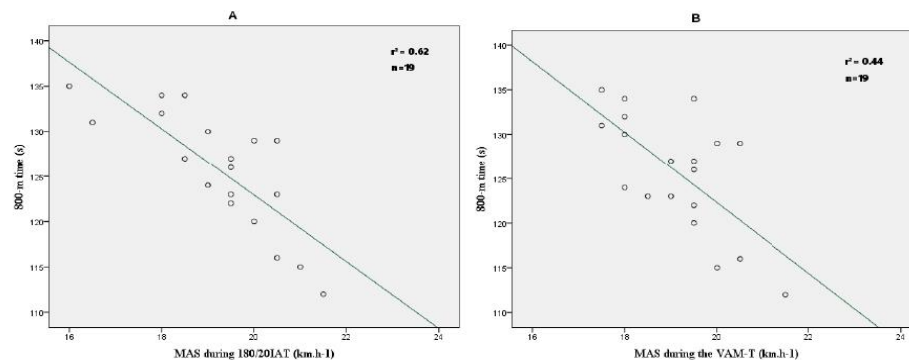
The major finding of the present study is that the MAS achieved in the 180/20<sub>IAT</sub> is significantly associated with MAS measured on traditional track test (VAM-T), and the maximal variables derived from both tests are non-significantly different. In addition, the results showed that the 180/20<sub>IAT</sub> was strongly correlated with performance on 800-m.

In the present study, we observed that the 180/20<sub>IAT</sub> elicits similar MAS, HRpeak, and [La] to a classic graded continuous field test (VMA-T). VMA-T was carried out with the aim of obtaining a measure of MAS,<sup>4</sup> which we used as a reference in this study. Moreover, MAS obtained during both tests were significantly correlated ( $r = 0.82, p < 0.05$ ), with very large correlation coefficient. These results are consistent with those of other studies comparing VMA-T with Yo-Yo intermittent recovery test,<sup>13,16</sup> or yet recently with treadmill intermittent protocol.<sup>12</sup> Therefore, the validity of the 180/20<sub>IAT</sub> to determine MAS seems similar or even better than that of other tests already validated. This result is moreover largely confirmed by our low 95% interval of agreements.

It should be noted, however, that the increments in speed were different for the two tests ( $0.5 \text{ km.h}^{-1}$  per 1 min stage in the VAM-T,  $0.5 \text{ km.h}^{-1}$  per 200m stage in the 180/20<sub>IAT</sub>). For the 180/20<sub>IAT</sub>, the total distance of 200m for each stage (180m run with a short rest of 20m to allow an adaptation of the speed) was chosen because middle-distance runners use short intermittent exercises (from a distance of about 200m) as part of their training.<sup>6</sup> In addition, this



**Figure 2.** (A) Relationship between the maximal aerobic speed obtained from the VAM-EVAL test and the maximal aerobic speed obtained from the 180/20 intermittent athletic test. (B) Bland-Altman plot of the maximal aerobic speed obtained from the VAM-EVAL versus the maximal aerobic speed achieved during the 180/20 intermittent athletic test.



**Figure 3.** (A) Relationship between 800-m performance and MAS<sub>180/20IAT</sub>. (B) Relationship between 800-m performance and MAS<sub>VAM-T</sub>.

distance for each stage (200m) has also been chosen because it has been demonstrated that performance over a distance of 200m can be used to predict performance on 800m in middle-distance runners.<sup>6</sup> The results of the current study showed a similar MAS between an incremental continuous test commonly used (VAM-T) and a new incremental test with short intermittent exercise (which is supposed to be better meet the intermittent nature of the middle running distance discipline). These results confirm those found recently by Benhammou et al.<sup>18</sup> Moreover, MAS during both tests were significantly correlated, and low systematic bias (-0.10km.h<sup>-1</sup>) and limits of agreement (-1.69–1.48 km.h<sup>-1</sup>) were noted. In other words, MAS is non-significantly underestimated by -0.5%, and among 100 new runners, 95 athletes would have at worst a MAS underestimated (not significantly) by -8.8% or overestimated (not significantly) by +7.7%.

According to the present data, the 180/20<sub>IAT</sub> was correlated with the other indicators of maximal capacity of aerobic metabolism. The results showed that the 180/20<sub>IAT</sub> produced values of HR<sub>peak</sub> and [La] comparable with those of VAM-T. These results are in agreement with values obtained by other authors<sup>3,43</sup> comparing intermittent protocols to other continuous incremental field exercises. The homogeneity of the HR<sub>peak</sub> and [La] values at the end of the tests allowed to confirm maximal exertion at the end of the 180/20<sub>IAT</sub> and the major contribution of anaerobic metabolism, when an athlete reaches her/his MAS. Supporting this idea, previous studies reported a major anaerobic participation during intermittent exercise.<sup>12,29</sup> As maximal oxygen uptake (VO<sub>2</sub>max) is considered to be the best indicator of maximal capacity of aerobic metabolism and that VO<sub>2</sub>max is routinely evaluated during incremental exercise tests,<sup>21,22</sup> the future studies could compare VO<sub>2</sub>max between continuous test and 180/20<sub>IAT</sub>.

Previously, several studies have demonstrated a strong relationship between middle-distance performance and the MAS.<sup>23,24</sup> Indeed, Ingham et al.<sup>23</sup> have previously observed large relationship between MAS measured on treadmill during incremental intermittent running test and 800-m running performance in 15 male 800-m runners ( $r=0.53$ ), and 16 female 800-m runners ( $r=0.82$ ). The current study confirms this because MAS determined from the VAM-T was significantly related to 800-m performance time ( $r=-0.66$  considered as large,  $p<0.01$ ). However, a better significant correlation between 800-m running performance and MAS achieved during 180/20<sub>IAT</sub> was noted ( $r=-0.78$  considered as very large,  $p<0.01$ ). So, MAS achieved during 180/20<sub>IAT</sub> is a better predictor of 800-m performance than MAS obtained from the VAM-T. These results may be considered as a consequence of the intermittent form of 180/20<sub>IAT</sub> which simulates daily training of middle-distance runners.

In conclusion, the results of the current study showed that 180/20<sub>IAT</sub> may be considered as a valid test to assess the MAS in middle-distance runners. Moreover, the MAS obtained during this field test was significantly correlated to the 800-m running performance. Consequently, the 180/20<sub>IAT</sub> appears as an interesting and practical alternative to a classic incremental continuous tests and seems as accurate for determine a reference velocity for intermittent training prescription in middle-distance athletes. Given the interest of the MAS determination in middle-distance runners, further researches examining the effect of training program including short intermittent exercises on the MAS<sub>180/20IAT</sub> are to be conducted in order to evaluate the sensibility of 180/20<sub>IAT</sub>.

This study has some limitations that should be noted. The number of samples was relatively small. In addition, no women have performed this test. The need for familiarization with the sound signals to adjust running pace. A comparison with other MAS determination protocols is also recommended. Despite the very good correlations, perfect agreement and low bias observed in this investigation, future studies should replicate this research but using a portable gas analyzer in the field.

## Practical applications

Evaluation of the MAS is essential for middle-distance runners and coaches, but they have to choose the specific test. The current study showed that athletes and coaches can use the 180/20<sub>IAT</sub> because it lead to a particular MAS that takes into account various qualities solicited during intermittent training of middle-distance runners, i.e., aerobic metabolism performance, and the ability to recover between intermittent exercises. Moreover, the 180/20<sub>IAT</sub> were very largely correlated with the 800-m running performance suggesting that it could therefore be a very helpful tool to individualize a reference velocity for intermittent training in middle-distance athletes.

**Authorship.** All the authors have intellectually contributed to the development of the study, assume responsibility for its content and also agree with the definitive version of the article. **Conflicts of interest.** The authors have no conflicts of interest to declare. **Funding.** The authors have no funding to declare. **Acknowledgements.** The author thanks the subjects for their participation in the study as well as the Directorate General for Scientific Research and Technological Development (DG-RSDT). An audio beep (designed at the 180/20<sub>IAT</sub>) is available free of charge from the first author upon request. **Provenance and peer review.** Not commissioned; externally peer reviewed. **Ethical Responsibilities.** *Protection of individuals and animals:* The authors declare that the conducted procedures met the ethical standards of the responsible committee on human experimentation of the World Medical Association and the Declaration of Helsinki. *Confidentiality:* The authors are responsible for following the protocols established by their respective healthcare centers for accessing data from medical records for performing this type of publication in order to conduct research/dissemination for the community. *Privacy:* The authors declare no patient data appear in this article.

## References

1. [Lacour JR, Candau R. Vitesse maximale aérobie et performance en course à pied. Science & Sports. 1999;5:183-9.](#)
2. [Morgan DW, Baldini FD, Martin PE, Kohrt WM. Ten kilometer performance and predicted velocity at VO2max among well-trained male runners. Med Sci Sports Exerc. 1989;21:78-83.](#)
3. [Berthoin S, Pelayo P, Lensele-Corbeil G, Robin H, Gerbeaux M. Comparison of maximal aerobic speed as assessed with laboratory and field measurements in moderately trained subjects. Int J Sports Med. 1996;17:525-9.](#)
4. [Cazorla G. Field tests to evaluate aerobic capacity and maximal aerobic speed. Proceedings of the International Symposium of Guadeloupe. 1990, p. 151-73.](#)
5. [Carminatti LJ, Possamai CAP, de Moraes M, da Silva JF, de Lucas RD, Dittich N, et al. Intermittent versus Continuous Incremental Field Tests: Are Maximal Variables Interchangeable? J Sports Sci Med. 2013;12:165-70.](#)
6. [Brandon LJ. Physiological Factors Associated with Middle Distance Running Performance. Sports Med. 1995;19:268-77.](#)
7. [Vuorimaa T, Ahotupa M, Häkkinen K, Vasankari T. Different hormonal response to continuous and intermittent exercise in middle-distance and marathon runners. Scand J Med Sci Sports. 2008;18:565-72.](#)
8. [Manouvrier C, Cassirame J, Ahmaidis S. Proposal for a Specific Aerobic Test for Football Players: The "Footeval." J Sports Sci Med. 2016;15:670-7.](#)
9. [Bradley PS, Mohr M, Bendiksen M, Randers MB, Flindt M, Barnes C, et al. Sub-maximal and maximal Yo-Yo intermittent endurance test level 2: heart rate response, reproducibility and](#)

- [application to elite soccer. Eur J Appl Physiol. 2011;111:969–78.](#)
10. [Buchheit M. The 30-15 intermittent fitness test: accuracy for individualizing interval training of young intermittent sport players. J Strength Cond Res. 2008;22:365–74.](#)
  11. [Castagna C, Iellamo F, Impellizzeri FM, Manzi V. Validity and reliability of the 45-15 test for aerobic fitness in young soccer players. Int J Sports Physiol Perform. 2014;9:525–31.](#)
  12. [Léger L, Boucher R. An indirect continuous running multistage field test: the Université de Montréal track test. Can J Appl Sport Sci. 1980;5:77–84.](#)
  13. [Buchheit M, Simpson BM, Mendez-Villanueva A. Repeated high-speed activities during youth soccer games in relation to changes in maximal sprinting and aerobic speeds. Int J Sports Med. 2013;34:40–8.](#)
  14. [Hopkins WG, Marshall SW, Batterham AM, Hanin J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. Med Sci Sports Exerc. 2009;41:3–13.](#)
  15. [Dupont G, Defontaine M, Bosquet L, Blondel N, Moalla W, Berthoin S. Yo-Yo intermittent recovery test versus the Université de Montréal Track Test: relation with a high-intensity intermittent exercise. J Sci Med Sport. 2010;13:146–50.](#)
  16. [Aziz AR, Tan FHY, Teh KC. A Pilot Study Comparing Two Field Tests with the Treadmill Run Test in Soccer Players. J Sports Sci Med. 2005;4:105–12.](#)
  17. [Los Arcos A, Vázquez JS, Villagra F, Martín J, Lerga J, Sánchez F, et al. Assessment of the maximal aerobic speed in young elite soccer players: Université de Montréal Track Test \(UM-TT\) vs. treadmill test. Science & Sports. 2019;34:267–71.](#)
  18. [Benhammou S, Coquart JBJ, Mourot L, Adel B, Idriss MM, Ali B, et al. Comparison of Two Tests to Determine the Maximal Aerobic Speed. Acta Facultatis Educationis Physicae Universitatis Comenianae. 2020;60:241–51.](#)
  19. [Buchheit M, Al Haddad H, Millet GP, Lepretre PM, Newton M, Ahmaidi S. Cardiorespiratory and cardiac autonomic responses to 30-15 intermittent fitness test in team sport players. J Strength Cond Res. 2009;23:93–100.](#)
  20. [Benhammou S, Mourot L, Mokkedes MI, Bengoua A, Belkadi A. Assessment of maximal aerobic speed in runners with different performance levels: interest of a new intermittent running test. Science & sports. In press 2021.](#)
  21. [Coquart JB, Garcin M, Parfitt G, Tourny-Chollet C, Eston RG. Prediction of maximal or peak oxygen uptake from ratings of perceived exertion. Sports Med. 2014;44:563–78.](#)
  22. [Coquart J, Tabben M, Farooq A, Tourny C, Eston R. Submaximal, Perceptually Regulated Exercise Testing Predicts Maximal Oxygen Uptake: A Meta-Analysis Study. Sports Med. 2016;46:885–97.](#)
  23. [Ingham SA, Whyte GP, Pedlar C, Bailey DM, Dunman N, Nevill AM. Determinants of 800-m and 1500-m running performance using allometric models. Med Sci Sports Exerc. 2008;40:345–50.](#)
  24. [Lacour JR, Padilla-Magunacelaya S, Barthélémy JC, Dormois D. The energetics of middle-distance running. Eur J Appl Physiol Occup Physiol. 1990;60:38–43.](#)
-

**RESULATS DES TESTS****Etude 1** : Performances physiologiques réalisées au cours des deux tests (n = 17)

Paramètres	VMA (km.h <sup>-1</sup> )		FCmax (bpm)		LA (mmol.L <sup>-1</sup> )	
	VAM-T	80/20 <sub>VMA</sub>	VAM-T	80/20 <sub>VMA</sub>	VAM-T	80/20 <sub>VMA</sub>
01	18	19	192	195	10,4	10,9
02	17	18,5	192	193	11	11,3
03	20	21,5	190	193	12	11,7
4	18	19	189	192	11,5	11,1
05	17	18	193	195	11	12,3
06	16	18	186	189	11	11,2
07	16	17	189	187	11	11,8
08	17	18,5	191	190	11	12,6
09	18	19	187	185	11,6	11,4
10	17	19	192	195	11,3	11,5
11	18	19,5	191	188	10,6	10,2
12	20	20,5	193	194	11,8	11,3
13	17	18	190	192	11,3	10,9
14	15	16	192	194	10,7	10,9
15	18	20	191	193	11	11,3
16	17	18,5	193	189	10,9	11,1
17	16	18	195	197	10,5	11,2
<b>Moyenne</b>	17,3	18,7	190,9	191,8	11,0	11,3
<b>Ecart-type</b>	1,3	1,2	2,2	3,3	0,4	0,5

**ANNEXE 2 RESULTATS DES TESTS**

**Etude 2 : Performances physiologiques réalisées au cours des deux tests (n = 18)**

Paramètres	VMA (km.h <sup>-1</sup> )		FCmax (bpm)		LA (mmol.L <sup>-1</sup> )	
	VAM-T	150/50 <sub>VMA</sub>	VAM-T	150/50 <sub>VMA</sub>	VAM-T	150/50 <sub>VMA</sub>
01	18	19,5	195	194	11	10,2
02	18	18,5	194	192	12,4	11,1
03	19,5	21,5	195	193	11,8	10,1
4	18	19	193	192	11,4	10,9
05	19	18,5	194	196	12	11,8
06	18	19	189	188	11,4	10,9
07	18	18,5	192	188	11,4	11,6
08	16,5	18,5	193	191	11,1	11,6
09	18	20	186	187	10,5	11
10	17	19,5	191	192	11,5	11,5
11	18	19,5	196	189	11,2	10,3
12	20	20,5	195	193	11,3	10,9
13	17	18	192	190	11,2	10,8
14	16	17,5	193	192	11,3	11,7
15	18	20	194	192	11,4	10,9
16	17	18,5	193	188	11,6	12
17	17,5	18	196	194	12,3	11,8
18	18	19,5	195	192	11,8	10,3
<b>Moyenne</b>	17,9	19,1	191	193	11,0	11,4
<b>Ecart-type</b>	0,9	0,9	2	4	0,5	0,4



**Etude 3** : Performances physiologiques réalisées au cours des deux tests (n = 19)

Paramètres	VMA (km.h <sup>-1</sup> )		FCmax (bpm)		LA (mmol.L <sup>-1</sup> )	
	VAM-T	180/20 <sub>IAT</sub>	VAM-T	180/20 <sub>IAT</sub>	VAM-T	180/20 <sub>IAT</sub>
01	18,5	19,5	192	196	10,4	10,9
02	18	18	192	194	11	11,3
03	20,5	20,5	192	190	12	11,7
4	18	19	189	193	11,5	11,1
05	20	21	193	195	11	12,3
06	19,5	18,5	186	191	11	11,2
07	19,5	19,5	190	187	11	11,8
08	21,5	21,5	190	190	12,8	12,6
09	19	20,5	187	184	11,6	11,4
10	19,5	19,5	195	191	11,3	11,5
11	18	18	191	188	10,6	10,2
12	20	20	193	194	12,8	12,5
13	18	19	190	192	11,3	10,9
14	17,5	16,5	192	194	10,7	10,9
15	19,5	18,5	192	190	11	11,3
16	17,5	16	193	194	10,9	11,1
17	19	19,5	193	196	11,8	12,9
18	20,5	20,5	194	192	11,8	12,4
19	19,5	20	191	194	11,3	11,9
<b>Moyenne</b>	19,1	19,2	191	191	11,3	11,5
<b>Ecart-type</b>	1,1	1,4	2	3	0,6	0,7

Etude 3 : Reproductibilité des indices physiologiques de l'épreuve 180/20<sub>IAT</sub> (n = 19)

Paramètres	VMA (km.h <sup>-1</sup> )		FCmax (bpm)		LA (mmol.L <sup>-1</sup> )	
	180/20 <sub>IAT</sub>	Re-test	180/20 <sub>IAT</sub>	Re-test	180/20 <sub>IAT</sub>	Re-test
01	19,5	19	196	194	10,9	10,6
02	18	17,5	194	195	11,3	10,9
03	20,5	20	190	192	11,7	11,8
04	19	18,5	193	191	11,1	11,3
05	21	21	195	193	12,3	12,2
06	18,5	19	191	189	11,2	11
07	19,5	19,5	187	189	11,8	11,5
08	21,5	21,5	190	192	12,6	12,8
09	20,5	20	184	186	11,4	11,5
10	19,5	19,5	191	192	11,5	11,9
11	18	18,5	188	190	10,2	10,6
12	20	20,5	194	191	12,5	12,2
13	19	18,5	192	190	10,9	10,6
14	16,5	17	194	196	10,9	11,2
15	18,5	18,5	190	192	11,3	11,8
16	16	16,5	194	196	11,1	10,8
17	19,5	19	196	193	12,9	12,6
18	20,5	20,5	192	189	12,4	12
19	20	20,5	194	190	11,9	11
<b>Moyenne</b>	19,2	19,2	191	191	11,5	11,4
<b>Ecart-type</b>	1,4	1,3	3	2	0,7	0,6
<b>CV (%)</b>	7		1,4		5,9	
<b>ICC</b>	0,95		0,68		0,86	

## ANNEXE 2 RESULTATS DES TESTS

Etude 04 : Caractéristique physiologiques et performances réalisées lors des deux tests (n = 47)

Paramètres	VMA (km.h <sup>-1</sup> )		FCmax (bpm)		LA (mmol.L <sup>-1</sup> )		Distance parcourue (m)	
	VAM-T	180/20 <sub>IAT</sub>	VAM-T	180/20 <sub>IAT</sub>	VAM-T	180/20 <sub>IAT</sub>	VAM-T	180/20 <sub>IAT</sub>
01	20	20,5	185	188	12,7	13	5825	4680
02	16,5	17	201	197	10,2	11,2	3669	3420
03	23,5	24	181	185	13,7	13,9	8389	5940
04	23	23	185	188	11,4	12,1	7998	5580
05	23,5	23	182	184	13,9	13,5	8389	5580
06	22,5	23	187	191	11,8	12,3	7615	5580
07	21,5	22	184	185	12,3	12,9	6874	5220
08	21,5	22,5	188	185	12,1	13,1	6874	5400
09	21,5	22,5	185	188	11,3	12,4	6874	5400
10	18,5	19,5	192	196	10,4	10,9	4851	4320
11	18	18	192	194	11	11,3	4543	3780
12	20,5	20,5	192	190	12	11,7	6166	4680
13	18	19	189	193	11,5	11,1	4543	4140
14	20	20,5	193	195	11	12,3	5825	4680
15	19,5	18,5	186	191	11	11,2	5492	3960
16	19,5	19,5	190	187	11	11,8	5492	4320
17	21,5	21,5	190	190	12,8	12,6	6874	5040
18	19	20,5	187	184	11,6	11,4	5167	4680
19	19,5	19,5	195	191	11,3	11,5	5492	4320
20	18	18	191	188	10,6	10,2	4543	3780
21	20	19,5	193	194	12,8	12,5	5825	4320
22	18	18,5	190	192	11,3	10,9	4543	3960
23	17,5	16,5	192	194	10,7	10,9	4243	3240
24	19,5	19	192	190	11	11,3	5492	4140
25	18,5	18	193	194	10,9	11,1	4851	3780
26	19	19,5	193	196	11,8	12,9	5167	4320
27	20,5	20,5	194	192	11,8	12,4	6166	4680
28	19,5	20	191	194	11,3	11,9	5492	4500
29	19	18,5	193	199	12,8	11,9	5167	3960
30	18,5	19	190	194	10,6	10,9	4851	4140
31	18	18	186	191	11,2	12,2	4543	3780
32	19	20,5	188	192	10	12,1	5167	4680
33	20	19,5	193	194	13,4	13,9	5825	4320
34	18,5	20	194	195	12,1	13,4	4851	4500
35	19,5	19	197	192	13,3	13,6	5492	4140
36	18	19	203	198	14,1	13,8	4543	4140
37	20,5	20	193	190	12	13,2	6166	4500
38	20	20	188	184	10,8	11,8	5825	4500
39	19	19,5	191	195	11,4	12,8	5167	4320
40	19,5	18	185	190	11	11,4	5492	3780
41	19,5	20	201	196	14,4	14,1	5492	4500
42	19	19,5	198	199	11,9	12,8	5167	4320
43	19,5	19	193	197	12,2	12,7	5492	4140
44	18,5	18,5	189	190	11,5	11,7	4851	3960
45	19,5	20	196	201	12,8	12,5	5492	4500
46	20	19,5	190	196	10,9	12,9	5825	4320
47	19,5	20	204	198	12,7	13,1	5492	4500
<b>Moyenne</b>	19,6	19,8	191,1	192,0	11,7	12,2	5620	4434
<b>Ecart-type</b>	1,5	1,6	5,0	4,3	1,0	0,9	1036	581

**Etude 04** : Reproductibilité des indices physiologiques de l'épreuve 180/20<sub>IAT</sub> (n = 47)

Paramètres	VMA (km.h <sup>-1</sup> )		FCmax (bpm)	
	180/20 <sub>IAT</sub>	Re-test	180/20 <sub>IAT</sub>	Re-test
01	20,5	20	188	189
02	17	17,5	197	195
03	24	24	185	186
04	23	23,5	188	188
05	23	23	184	185
06	23	22,5	191	190
07	22	21,5	185	186
08	22,5	22,5	185	183
09	22,5	22	188	186
10	19,5	19	196	195
11	18	18,5	194	194
12	20,5	20,5	190	189
13	19	19	193	193
14	20,5	21	195	194
15	18,5	19	191	190
16	19,5	19,5	187	188
17	21,5	21	190	188
18	20,5	20,5	184	186
19	19,5	19	191	192
20	18	18,5	188	190
21	19,5	20,5	194	191
22	18,5	19	192	193
23	16,5	17,5	194	194
24	19	18,5	190	191
25	18	17,5	194	193
26	19,5	19	196	195
27	20,5	20	192	192
28	20	20,5	194	191
29	18,5	19,5	199	197
30	19	18,5	194	195
31	18	18,5	191	192
32	20,5	21	192	194
33	19,5	19,5	194	193
34	20	20,5	195	192
35	19	18,5	192	190
36	19	19,5	198	198
37	20	20	190	190
38	20	20,5	184	185
39	19,5	20	195	196
40	18	18	190	192
41	20	20	196	197
42	19,5	19,5	199	195
43	19	19,5	197	194
44	18,5	18	190	191
45	20	20,5	201	198
46	19,5	20	196	196
47	20	20,5	198	196
<b>Moyenne</b>	19,8	19,9	192,0	191,6
<b>Ecart-type</b>	1,6	1,5	4,3	3,7
<b>CV (%)</b>	7,7		1,9	
<b>ICC</b>	0,95		0,92	

**Etude 04** : Performances réalisées lors du 180/20<sub>IAT</sub> (groupe débutants n = 26)

Sujets	VMA (km.h <sup>-1</sup> )	Distance parcourue (m)
01	16	3060
02	16,5	3240
03	15,5	2880
04	16	3060
05	15	2700
06	14,5	2520
07	13,5	2160
08	17	3420
09	18	3780
10	15,5	2880
11	15	2700
12	16,5	3240
13	17,5	3600
14	16	3060
15	16,5	3240
16	15,5	2880
17	16	3060
18	17,5	3600
19	15,5	2880
20	16,5	3240
21	17	3420
22	15,5	2880
23	17	3420
24	16,5	3240
25	15,5	2880
26	16	3060
<b>Moyenne</b>	16,0	3080
<b>Ecart-type</b>	0,9	357

ANNEXE 2 RESULTATS DES TESTS

Etude 05 : Performances réalisées lors des 4 tests (n = 19)

Paramètres	VMA (km.h <sup>-1</sup> )		Performance		% de VMA maintenu			
	VAM-T	180/20 <sub>IAT</sub>	800m (s)	1500m (s)	VAM-T/800m	180/20 <sub>AT/800m</sub>	VAM-T/1500m	180/20 <sub>IA</sub> T/1500m
01	18,5	19,5	123	256	126	120	114	108
02	18	18	134	261	119	119	115	115
03	20,5	20,5	116	245	121	121	107	107
04	18	19	124	256	129	122	116	110
05	20	21	115	247	125	119	109	104
06	19,5	18,5	134	270	110	116	102	108
07	19,5	19,5	126	265	117	117	104	104
08	21,5	21,5	112	236	119	119	106	106
09	19	20,5	123	252	123	114	111	104
10	19,5	19,5	122	250	121	121	110	110
11	18	18	132	257	121	121	117	117
12	20	20	129	264	111	111	103	103
13	18	19	130	271	123	116	110	105
14	17,5	16,5	131	275	125	133	112	119
15	19,5	18,5	127	263	116	122	105	111
16	17,5	16	135	293	121	133	105	115
17	19	19,5	127	266	119	116	107	104
18	20,5	20,5	129	243	108	108	108	108
19	19,5	20	120	250	123	120	110	108
<b>Moyenne</b>	19,1	19,2	125	258	119,8	119,3	109	108
<b>Ecart-type</b>	1,1	1,4	6	13	5,5	6,06	4,4	4,7



**Cardiofréquence (Polar S610i)**



**Lactate Pro (LT-1710)**



**Anémomètre portable PCE-AM 81**

## **ILS TEMOIGNENT**

---

### **Martin Buchheit**

**Paris saint Germain FC, sport performance consulting & research, France**

*« C'est très bien, je pense qu'il est important que vous justifiez bien le 'pourquoi' nous avons besoin d'un nouveau test encore ».*

### **David w Hill**

**University of North Texas, États-Unis**

*« The 180/20<sub>IAT</sub> alternates fast 180-m runs and slow 20-m recoveries and is well-received by athletes because it provides a challenge similar to that of a typical interval training session. In fact, it can be considered to be both a test and a training session. The 180/20<sub>IAT</sub> is easy to administer and it requires little more than a 400-m running track, 20 small cones, a pre-recorded series of 'beeps', and a loudspeaker system. The 180/20<sub>IAT</sub> provides a familiar challenge for middle-distance runners as it alternates fast 180-m runs and slow 20-m recoveries, like a typical interval training session ».*

### **Lorival José Carminatti**

**Universidade do Estado de Santa Catarina. Brésil**

*«I found a great test design; the protocol proposal was really cool».*

### **Jesús G. Pallarés**

**University of Murcia, Human Performance & Sports Science. Espagne**

*« Congratulations on your initiative. Nevertheless, the validation of this protocol should be focused to accurately estimate the maximal aerobic speed, measure the HRmax, and achieve a reliable estimation of the running performance».*

### **Jhon f. ramirez-villada**

**University of Antioquia. Colombia**

*« The test proposal is interesting. In this regard, it would be valuable to review aspects of the consistency of the test (internal validity), then compare the response of different physiological parameters in the laboratory (stress test) with the answer to the test on the track. Before, it is essential to review the arguments that support the test so that we can establish at what point of validation it is and specify the number of subjects required for the process. They are simply suggestions, a big hug, and good luck».*



## Résumé

La vitesse maximale aérobie (VMA) est un bon indicateur de la performance en course de demi-fond. Celle-ci est la plupart du temps obtenue lors d'un test continu. Pourtant, l'entraînement moderne des athlètes de demi-fond repose de plus en plus sur un entraînement intermittent et le test de détermination de la VMA doit être adapté à cette méthode. De ce constat, l'objectif principal de ce travail était de développer un nouveau test de détermination de la VMA chez les athlètes de demi-fond appelé 180/20 Intermittent Athletic Test (180/20<sub>IAT</sub>) adapté aux exercices intermittents. Cette étude a été scindée en trois parties et lors de l'ensemble des études les participants étaient tous des coureurs de demi-fond. La première partie est considérée comme une étude préliminaire (étude 1, 2 et 3) et avait pour objectif de définir le protocole du test pour déterminer la VMA chez les athlètes de demi-fond. Trois différents tests ont été réalisés en les comparant avec un test classique de course sur piste : le test de VAM-EVAL (VAM-T) afin d'adopter le test de l'étude. L'étude 3 a permis de montrer que le 180/20<sub>IAT</sub> permettait de réaliser des vitesses finales les plus proches aux VMA déterminées au cours de test de référence. La deuxième partie avait pour objectif de valider le 180/20<sub>IAT</sub> sur un échantillon plus large de coureurs. Nos résultats montrent que les VMA obtenues avec les deux tests ne sont pas significativement différentes. Par ailleurs, les réponses physiologiques sont elles aussi comparables et la reproductibilité du 180/20<sub>IAT</sub> peut être considérée comme très élevée. De plus, le 180/20<sub>IAT</sub> était sensible à l'entraînement et pouvait parfaitement distinguer entre les athlètes de demi-fond de niveaux de pratique et d'expériences différents. Le but de la troisième partie était d'examiner la relation entre le 180/20<sub>IAT</sub> et la performance en course de demi-fond (800 m et 1500 m). Les résultats ont confirmé que les VMA obtenues lors du 180/20<sub>IAT</sub> étaient mieux corrélées à la performance de course que celles sur le VAM-T. L'ensemble de nos travaux permettent d'apporter un outil de terrain spécifique à la disposition des entraîneurs, peu coûteux et facilement utilisable pour déterminer la vitesse maximale aérobie d'une façon qui ne diffère pas des conditions d'entraînement des athlètes de demi-fond.

**Mots clé :** Vitesse maximale aérobie, test intermittent, demi-fond, performance de course.

## **Abstract**

The maximal aerobic speed (MAS) is a key factor for predicting the performance of middle-distance running. MAS is usually obtained using a continuous test. However, the modern training of middle-distance athletes is based on intermittent exercises and the MAS determination test must be adapted to this method. Taken this into consideration, the main objective of this work was to develop a new specific testing for middle-distance runners entitled the 180/20 intermittent athletic test (180/20<sub>IAT</sub>) for intermittent exercise. This study was divided into three parts and in all the studies the participants were all middle-distance runners. The first part is considered a preliminary study (study 1, 2 and 3) and aims to define the test protocol for determining MAS in middle-distance athletes. Three different tests were performed by comparing them with a traditional test: VAM-EVAL test (VAM-T) in order to adopt the study test. Study 3 showed that 180/20<sub>IAT</sub> made it possible to achieve final speeds closest to the MASs determined during the reference test. The second part aims to validate the 180/20<sub>IAT</sub> on a larger sample of runners. Our results show that the MAS obtained with the two tests are not significantly different. Furthermore, physiological responses are also comparable and the reproducibility of the 180/20<sub>IAT</sub> can be considered as very high. In addition, the 180/20<sub>IAT</sub> was sensitive to training and could perfectly discriminate between middle-distance runners of different level of practice and experience. The purpose of the third part was to examine the relationship between the 180/20<sub>IAT</sub> and the performance in the middle distance (800 m and 1500 m). The results confirmed that the MAS obtained during 180/20<sub>IAT</sub> was better correlated to the running performance than those on the VAM-T. Therefore, the 180/20<sub>IAT</sub> appears to be an intermittent test adapted to evaluate the MAS and scheduling intermittent training sessions in middle-distance runners.

**Keywords:** Maximal aerobic speed, intermittent test, middle-distance running, running performance.

ملخص

تعتبر السرعة القصوى الهوائية مؤشرا مهما لتقييم الأداء البدني لعُدائي المسافات المتوسطة. غالبا ما يتم تحديدها من خلال الاختبار المستمر بالرغم من أن التدريب الحديث لعُدائي المسافات المتوسطة يركز بشكل كبير على التدريب المتقطع و من المهم تكييف اختبار تحديد السرعة القصوى الهوائية مع هذه الطريقة. لذلك، كان الغرض الرئيسي من هذه الدراسة هو تصميم اختبار متقطع جديد لقياس السرعة القصوى الهوائية لدى عدائي المسافات المتوسطة اسمه الاختبار البدني المتقطع 20/180 تماشيا مع متطلبات التدريب في هذا الاختصاص. تم تقسيم هذه الدراسة إلى ثلاثة أجزاء، واعتمدنا في دراستنا على عينة مكونة فقط من عدائي المسافات المتوسطة. كان الهدف من الجزء الأول من الدراسة (الدراسة الأولية 1، 2 و 3) هو تحديد بروتوكول الاختبار لقياس السرعة القصوى الهوائية لدى عدائي المسافات المتوسطة. تم إجراء ثلاثة اختبارات مختلفة كما تم مقارنتها مع اختبار مرجعي الأكثر استعمالا لقياس السرعة القصوى الهوائية (VAM-T).

أظهرت نتائج الدراسة الثالثة أن اختبار 20/180 يحقق قيم متقاربة للسرعة القصوى الهوائية مقارنة مع الاختبار المرجعي. على هذا الأساس، هدف الجزء الثاني من الدراسة إلى التحقق من صحة اختبار 20/180 على عينة أكبر من العدائين. أكدت النتائج عدم وجود فروق ذات دلالة إحصائية بين قيم السرعة القصوى الهوائية المسجلة خلال الاختبارين. علاوة على ذلك، الاستجابات الفسيولوجية قابلة للمقارنة أيضًا بين الاختبارين. من جهة أخرى، كانت موثوقية اختبار 20/180 عالية جدا. بالإضافة إلى ذلك، تم التأكد من حساسية اختبار 20/180. الجزء الثالث من هذا البحث يفحص العلاقة الموجودة بين اختبار 20/180 والأداء في المسافات المتوسطة (800 م و 1500 م). أسفرت النتائج أن قيم السرعة القصوى الهوائية المتحصل عليها من خلال اختبار 20/180 مرتبطة بشكل أفضل بالأداء مقارنة مع تلك المتحصل عليها خلال الاختبار المرجعي. تؤكد هذه الدراسة على أهمية اختبار 20/180 لبرمجة التدريبات المتقطعة لدى عدائي المسافات المتوسطة.

**الكلمات المفتاحية:** السرعة القصوى الهوائية، الاختبار المتقطع، المسافات المتوسطة، الأداء.