INSEP

Réflexion Sport

Scientifique & technique

29

Décembre 2022

EXTRAIT

Intérêt du Sprint Interval Training dans les sports intermittents et les sports collectifs

Par Jérôme Koral

Intérêt du Sprint Interval Training dans les sports intermittents et les sports collectifs

Par Jérôme Koral

Préparateur physique, formateur, chercheur, laboratoire Sport, Expertise, Performance (EA 7370), INSEP, France

Étudiées et développées depuis une vingtaine d'années, les méthodes d'entraînement par répétitions de sprints montrent aujourd'hui leur intérêt pour améliorer plusieurs paramètres cruciaux de la performance. Dans les sports collectifs et intermittents, où la capacité à répéter des sprints est primordiale, utiliser les intensités supramaximales peut s'avérer très efficace. Le Sprint Interval Training peut être utilisé de différentes manières selon le temps disponible et permet ainsi d'optimiser les séances d'entraînement.

©iStockphoto

Au cours des trente dernières années, le nombre de compétitions a sensiblement augmenté et, par conséquent, le temps pour s'entraîner a considérablement diminué (Issurin, 2008, 2010). À cela s'ajoute le fait que la performance sportive est non seulement multifactorielle mais également systémique, c'est-à-dire que lorsqu'on modifie un des facteurs de la performance, c'est l'ensemble des facteurs qui est impacté, et ce de façon positive ou négative. Face à ces problématiques du sport moderne, il devient obligatoire pour les entraîneurs et les préparateurs physiques, non seulement de choisir et/ou de développer des méthodes d'entraînement efficientes, mais aussi d'optimiser les temps de travail durant les séances. Pour cela, ils ont à leur disposition un panel de méthodes qui vont des plus traditionnelles, comme le travail continu d'intensité modérée (ou MICT), qui se base sur des intensités inférieures à la vitesse maximale aérobie (VMA), aux alentours de la vitesse critique (ou « état stable d'accumulation de lactates » ou encore seuil anaérobie), aux plus récentes comme le travail par intervalles de haute intensité (communément appelé HIIT). Ce dernier se situe soit entre 90 % et 100 % de VO_2max (ou de VMA), et on parle dans ce cas de HIIT à intervalles longs, soit entre 100 % et 120 % de VO_2max (ou VMA), ce que l'on désigne par HIIT à intervalles courts. Contrairement aux idées reçues, ces méthodes ne sont pas nouvelles. Il y a cent ans, dans les années 1920, Paavo Nurmi utilisait déjà des prémices d'entraînement à base de répétitions de sprints. Et dans les années 1950, Emil Zatopek formalisa ce type d'entraînement par intervalles. On remarquera qu'à l'époque, la réaction des entraîneurs contemporains de Zatopek ne fut pas des meilleures. Ils ne comprenaient pas l'intérêt de courir vite pour courir longtemps (Noakes, 2007).

Depuis deux décennies, certains entraîneurs utilisent des méthodes d'entraînement qui font appel à des intensités encore plus élevées (supérieures à 150 % de VMA) comme le Sprint Interval Training ou l'entraînement par sprints répétés (RST). Le premier est souvent associé à des efforts quasi maximaux voire maximaux (*all-out*), avec des temps de travail d'environ 30 secondes et des récupérations inter-séries de 2 à 6 minutes. Le second est également effectué à intensité maximale (sprints), mais avec un temps de travail généralement plus court (autour de 3 à 10 secondes) et des temps de récupération compris entre 30 secondes et une minute.

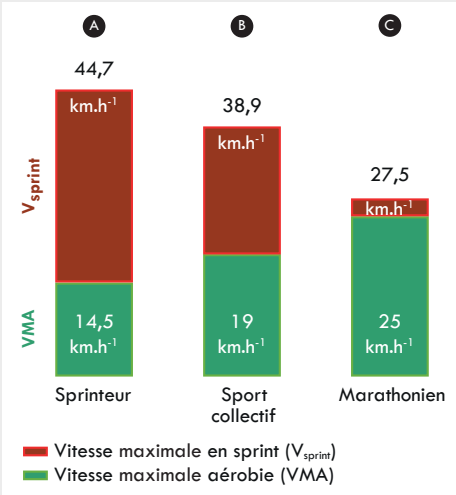

Figure 1 – Les différents profils de sportifs en fonction de la vitesse maximale aérobie (VMA) et de la vitesse maximale atteinte en sprint (V_{sprint}).

Comment utiliser les intensités supramaximales ?

Pour le comprendre, il est nécessaire d'introduire le concept de vitesse de réserve anaérobie (VRA). Cette VRA est basée à la fois sur la mesure de la VMA et de la vitesse de sprint (V_{sprint}). La différence entre les deux peut être exprimée soit en pourcentage de la VMA, soit en pourcentage de la V_{sprint}. Actuellement, pour mesurer la V_{sprint}, on utilise généralement un radar ou plus simplement l'application MySprint. L'avantage de mesurer cette V_{sprint} grâce à ces outils, au-delà de la définition de la VRA, est que nous pouvons également définir le profil force-vitesse de nos sportifs (voir Morin et Samozino, 2021).

La VRA met en évidence qu'il existe plusieurs profils de sportifs que nous résumerons schématiquement en trois cas (Fig. 1) :

1. À gauche, le sprinteur (A) qui, comparativement aux autres, a une VMA plutôt basse mais qui a la V_{sprint} la plus élevée. Sa VRA pourrait atteindre 300 % de VMA.
2. À l'opposé, à droite, le marathonien (C) a lui une VMA très élevée mais une V_{sprint} comparativement plus faible, et donc une VRA peu importante (environ 110 % de VMA).
3. Entre ces deux profils, nous trouvons le joueur de sports collectifs (B), qui a une bonne VMA (bien que plus basse que le marathonien) et également une V_{sprint} élevée (mais plus basse que le sprinteur), et donc une VRA qui atteint environ 200 % de VMA.

On comprend dès lors que pour individualiser une séance dite supramaximale, mesurer la VMA et définir une intensité supérieure à 100 % de VMA n'est pas suffisant. Dans la figure 2 (adaptée de Mercier, 2002),

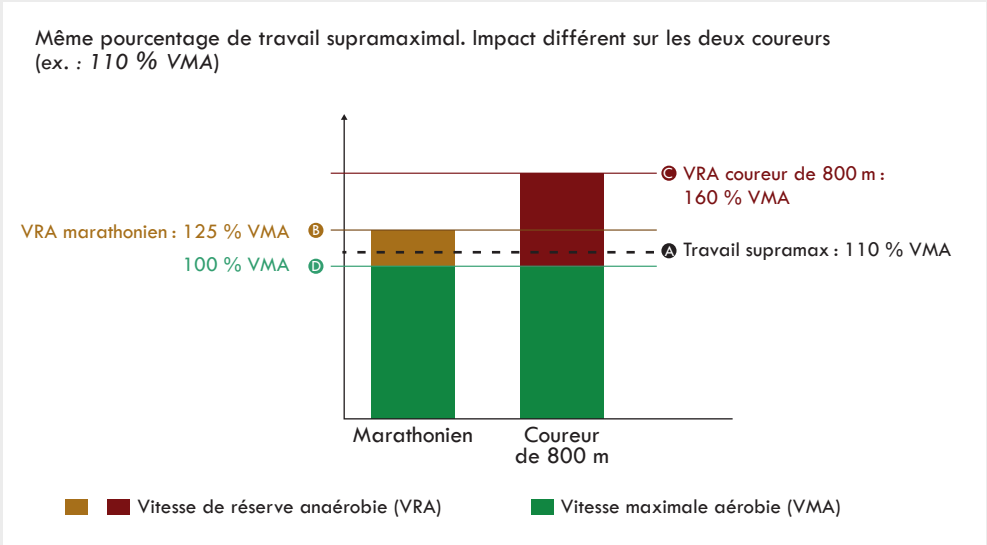

Figure 2 – Un exemple de travail à intensité supramaximale (110 % de VMA) et son impact sur deux coureurs dont la vitesse de réserve anaérobie diffère.

on voit que deux athlètes, l'un marathonien (Fig. 2B), l'autre coureur de 800 m (Fig. 2C), s'ils ont bien la même VMA, n'ont pas le même profil en termes de vitesse maximale de sprint. La seule mesure de la VMA conduirait à des erreurs synonymes à terme de surentraînement pour le marathonien. En effet, l'impact d'une séance de HIIT à 110 % de VMA (Fig. 2A) n'est pas du tout le même pour un marathonien que pour un coureur de 800 m qui ont une VRA différente (même VMA [Fig. 2D] mais une V_{sprint} différente). La charge physiologique pour la « même » séance à 110 % de VMA sera totalement différente. Le coureur de 800 m pourra sûrement finir la séance et la coter difficile ou moins sur une échelle de Borg alors que le marathonien risque de ne pas finir la séance et de la coter comme excessivement difficile. Afin de pouvoir individualiser les charges d'entraînement, il est donc nécessaire d'établir un profil des sportifs que nous entraînons en fonction de ces paramètres.

Pourquoi est-il intéressant d'utiliser les intensités supramaximales ?

Tout d'abord, le HIIT permet de maximiser, voire presque doubler, le temps passé à VO_2max comparativement à un travail en course continue (Demarie *et al.*, 2000), et ainsi d'avoir un impact plus important au niveau central (système cardiorespiratoire).

Helgerud *et al.* (2007) ont mesuré les effets de 24 séances (à raison de 3 entraînements par semaine pendant 8 semaines) sur le VO_2max et le volume d'éjection systolique chez 40 coureurs à pied modérément entraînés (VO_2max de 55 à 60 $ml.min^{-1}.kg^{-1}$). Les sujets ont été aléatoirement répartis en quatre groupes d'entraînement : 45 min de course longue et continue de faible intensité (70 % de FCmax), 25 min de course continue au seuil anaérobie (85 % de FCmax), 25 min de HIIT court (15 s de travail à 90-95 % de FCmax avec 15 s de récupération à 70 % de FCmax) et 25 min de HIIT long (4 × 4 min de travail à 90-95 % de FCmax avec 3 min de récupération à 70 % de FCmax). Après 8 semaines d'entraînement, le VO_2max a augmenté pour les groupes HIIT 15/15 (5,5 %) et HIIT 4 × 4 min (7,2 %). Le volume d'éjection systolique est également plus élevé (environ +10 %) pour les deux groupes HIIT. Au contraire, pour les deux groupes utilisant la course continue (longue et de faible intensité ou au seuil), aucun changement significatif n'a été mesuré. MacInnis *et al.* (2017) ont également montré qu'un entraînement en HIIT de 4 × 5 min à 65 % de la puissance maximale (Ppic) avec 2 min 30 de récupération à 20 % de Ppic permettait de s'améliorer au niveau périphérique (respiration mitochondriale et activité maximale de la citrate synthase).

Il existe beaucoup d'autres études qui vont dans le même sens, et ce quel que soit le niveau de pratique et/ou de pathologie (Elliott *et al.*, 2015 ; Garcia-Hermoso *et al.*, 2016 ; Guiraud *et al.*, 2012 ; Pattyn *et al.*, 2014 ; Weston *et al.*, 2014). Laursen et Jenkins (2002) soulignent même la nécessité d'utiliser le HIIT supramaximal (> 100 % de VAM) chez des athlètes bien entraînés (> à 60 $mL.min^{-1}.kg^{-1}$), de façon à continuer à développer leur VO_2max. Dans le cas contraire, les résultats risquent fort de devenir négatifs.

Il y a donc un consensus sur l'utilité du HIIT pour développer son endurance aérobie : le travail intermittent à haute intensité

« ... utiliser des séquences de travail de 3 à 4 min à 100 % de VMA pourrait par ailleurs être source de baisse de performance, notamment dans les sports collectifs. »

permet d'obtenir des résultats équivalents, voire meilleurs que la course continue à des intensités plus faibles, le tout en courant moins longtemps et en réduisant donc le temps total des séances (Demarie *et al.*, 2000 ; Helgerud *et al.*, 2007).

Les entraîneurs consacrent généralement un temps non négligeable durant la présaison pour améliorer cette endurance aérobie, car ils sont conscients que la voie aérobie et plus particulièrement le VO_2max sont d'une importance cruciale dans le football (Mallo et Navarro, 2008) et dans les sports collectifs en général. Par exemple, Helgerud *et al.* (2001) ont rapporté que plus le VO_2max et l'économie de course sont élevés, meilleures sont les performances pendant le match. De plus, l'optimisation du VO_2max permet une meilleure répétition des sprints (Glaister, 2005), une meilleure récupération entre chaque sprint (Aziz *et al.*, 2007 ; Brown *et al.*, 2007), et donc un maintien plus important de la vitesse de sprint pendant le match (Bishop et Edge, 2006).

Néanmoins, améliorer son VO_2max ne fait pas tout. Et surtout, utiliser des séquences de travail de 3 à 4 min à 100 % de VMA pourrait par ailleurs être source de baisse de performance, notamment dans les sports collectifs. En effet, comme la performance sportive est multifactorielle et systémique, nous avançons l'hypothèse que l'amélioration de la VMA en utilisant des méthodes plutôt adaptées aux courses de demi-fond et de fond pourrait nuire à la performance de vitesse maximale dans le cas des sports collectifs notamment. La figure 3 illustre les trois cas qui pourraient hypothétiquement être rencontrés lorsque nous entraînons des sportifs. Le cas C est l'objectif que tout entraîneur de sports collectifs et/ou de sports intermittents recherche, c'est-à-dire la capacité à améliorer à la fois sa V_{sprint} et sa VMA. Dans ce cas, on gagne sur tous

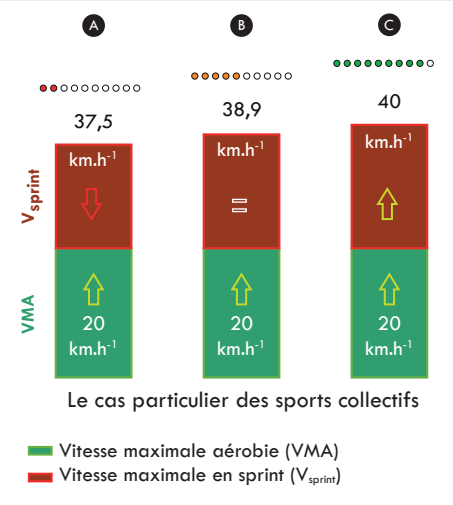

Figure 3 – Illustrations schématiques des évolutions possibles de la vitesse maximale aérobie (VMA) et de la vitesse maximale de sprint (V_{sprint}) en fonction des méthodes d'entraînement.

les tableaux. Le cas B permet d'améliorer sa VMA en maintenant sa V_{sprint}, ce qui est moins intéressant mais pas encore trop délétère pour la performance. Le cas A souligne le risque d'utiliser des méthodes de développement de la VMA basées soit sur du travail continu (voir précédemment), soit sur des séances de HIIT long à des intensités sous-maximales (90-95 % de VMA). Certes ces méthodes vont pouvoir permettre d'améliorer la VMA, mais des interférences pourraient être générées et donc impacter négativement la V_{sprint}. En d'autres termes, le sportif va devenir plus endurant mais moins rapide. Or, l'une des clés de la performance en sports collectifs est bien sa vitesse et son endurance de vitesse plutôt que la VMA. Une solution vient peut-être des travaux de Gaitanos *et al.* (1993) et de Bogdanis *et al.* (1996) sur le métabolisme musculaire pendant des sprints courts et longs, répétés ou non. Ces auteurs montrent non seulement la complémentarité des différentes filières métaboliques mais également, par déduction, l'intérêt du travail en sprint pour améliorer le métabolisme aérobie. En d'autres termes, des méthodes basées sur la répétition de sprints permettraient d'augmenter sa VMA sans interaction négative sur la V_{sprint}.

> *« … une nouvelle méthode de SIT qui ne nécessite que des cônes et un chronomètre, en adaptant le test dit « de l'Australien »… »*

Le Sprint Interval Training : une solution pour développer VMA et V_{sprint} simultanément ?

L'entraînement par intervalles de sprints (SIT) est justement basé sur la répétition de sprints courts maximaux ou quasi maximaux (Buchheit et Laursen, 2013 ; Burgomaster *et al.*, 2006 ; Parra *et al.*, 2000 ; Rodas *et al.*, 2000). D'un point de vue théorique, il a été démontré que le SIT effectué pendant des périodes relativement courtes, de quelques semaines à quelques mois, induit des adaptations enzymatiques dans les trois systèmes énergétiques (Rodas *et al.*, 2000). Par exemple, une augmentation de l'activité des enzymes glycolytiques et une augmentation des marqueurs du métabolisme aérobie ont été établies après un entraînement SIT (MacDougall *et al.*, 1998 ; Parra *et al.*, 2000 ; Rodas *et al.*, 2000). Ces résultats peuvent être expliqués par la contribution significative du métabolisme aérobie pendant le SIT (Bogdanis *et al.*, 1996 ; Gaitanos *et al.*, 1993 ; Glaister, 2005 ; McKenna *et al.*, 1997 ; Parolin *et al.*, 1999 ; Trump *et al.*, 1996). De plus, plusieurs méta-analyses ont conclu que le SIT augmente significativement les performances aérobie et anaérobie chez les athlètes entraînés et non entraînés (Gist *et al.*, 2014 ; Milanović *et al.*, 2015 ; Weston *et al.*, 2014).

D'un point de vue pratique, Taylor *et al.* (2015) montrent que le SIT peut induire des améliorations de faible à forte intensité dans les activités nécessitant force, puissance et vitesse, comme les sauts en contre-mouvement ou les sprints de 10 à 30 mètres. Ces auteurs ont également souligné que, dans certains cas, les sprints répétés sont même plus efficaces pour

améliorer les performances de sprint court que des méthodes telles que l'entraînement pliométrique, nous y reviendrons. Des études récentes ont également montré des résultats prometteurs en utilisant des sprints répétés pour améliorer la fonction cognitive (Cooper *et al.*, 2016), atténuer l'évaluation de l'effort perçu et la douleur dans les jambes (Astorino *et al.*, 2011), et même aider à la prise de décision clinique concernant le retour au sport après des blessures (Padulo *et al.*, 2016).

L'une des principales limites de la recherche sur le SIT est que la plupart des études ont été réalisées en laboratoire à l'aide de tapis roulants ou d'ergomètres coûteux (Bayati *et al.*, 2011). La très grande majorité des études sur le SIT se sont déroulées sur une période d'intervention de 2 à 10 semaines et l'utilisation d'un protocole Wingate sur une bicyclette ergométrique ou un tapis roulant vélo ergomètre était systématique (Astorino *et al.*, 2012 ; Bayati *et al.*, 2011 ; Burgomaster *et al.*, 2005, 2008 ; Cicioni-Kolsky *et al.*, 2013 ; Denham *et al.*, 2015 ; Hazell *et al.*, 2010 ; Jakeman *et al.*, 2012 ; MacDougall *et al.*, 1998 ; McKenna *et al.*, 1997 ; Rodas *et al.* 2000 ; Rowan *et al.*, 2012 ; Talanian *et al.*, 2007 ; Whyte *et al.*, 2010 ; Willoughby *et al.*, 2015). La littérature existante présente donc un manque évident d'études réalisées sur le terrain. Par conséquent, les résultats ne sont pas réellement transférables pour la plupart des entraîneurs pour lesquels les ressources sont souvent limitées. De même, les protocoles de 4 à 10 semaines ne sont pas toujours conciliables avec les contraintes temporelles du calendrier sportif.

Nous avons choisi d'adapter les méthodes SIT utilisées en laboratoire afin qu'elles soient transposables sur le terrain à moindre coût. Pour cela, nous avons développé une nouvelle méthode de SIT qui ne nécessite que des cônes et un chronomètre, en adaptant le test dit « de l'Australien », mis au point pour la Fédération française de rugby par Cazorla et Godemet à la fin des années 1990. Dans ce test, les participants doivent parcourir la plus grande distance possible en 30 s en effectuant des allers-retours (navettes) de distance croissante : 0-5 m-0 puis 0-10 m-0 puis 0-15 m-0, etc. On mesure ensuite la distance totale parcourue en 30 s à chaque série (Fig. 4). Conscients des contraintes temporelles des entraîneurs, nous nous sommes focalisés sur des périodes d'entraînement de deux à trois semaines maximum.

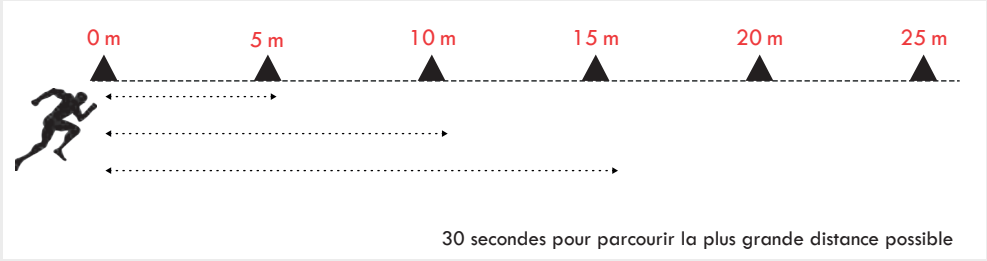

Figure 4 – Méthode d'entraînement SIT « Australien ».

Effets du SIT sur des coureurs de trail entraînés

(Koral, Oranchuk, Herrera et Millet, 2018)

L'objectif de cette première étude était d'évaluer les effets sur la performance de ce nouveau protocole d'entraînement à court terme (2 semaines) et très accessible, basé sur des courses navettes en sprint. Seize coureurs de trail entraînés (12 hommes, 4 femmes) se sont entraînés trois fois par semaine pendant deux semaines. Le nombre de répétitions a augmenté progressivement de 4 à 7 séries de 30 s entrecoupées de 4 min de récupération, pour un total respectivement de 2 min à un maximum de 3 min 30 s de travail à intensité maximale (Fig. 5). Les coureurs n'ont pratiqué que le SIT pendant les quinze jours du protocole.

Après une séance de familiarisation au SIT, la distance maximale (Dmax : la plus grande distance parcourue en 30 s), la distance moyenne (Dmoy : la distance totale de la session divisée par le nombre de répétitions ; par exemple pour 4 répétitions, Dmoy = [Dmax1 + Dmax2 + Dmax3 + Dmax4]/4), la vitesse maximale aérobie (VMA), le temps limite jusqu'à épuisement à 90 % de la VMA (Tlim) et le contre-la-montre sur 3 000 m (CLM 3 000 m) ont été évalués avant et après l'entraînement. Après 15 jours d'entraînement en SIT, la puissance maximale et la puissance moyenne ont augmenté de 2,4 % ($p = 0,009$) et de 2,8 % ($p = 0,002$) respectivement. La VMA s'est améliorée de 2,3 % ($p = 0,01$). Le CLM 3 000 m était en moyenne 51 s plus court (-5,7 % ; $p = 0,001$), tandis que le Tlim était en moyenne 2 min 39 plus long (+ 42 % ; $p = 0,001$) [Fig. 6].

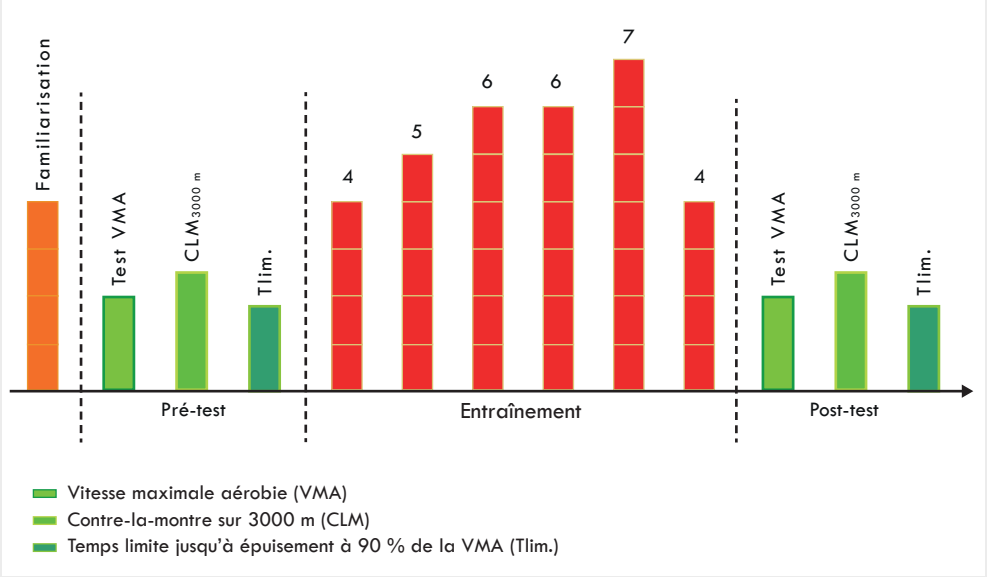

Figure 5 – Protocole expérimental pour les coureurs de trail.

Pour autant, cette méthode est-elle aussi efficace chez des pratiquants de sport collectif ? C'est ce que nous avons souhaité vérifier dans une seconde étude.

En résumé

L'entraînement SIT sur le terrain a donc amélioré de manière significative l'ensemble des paramètres de la performance (endurance et puissance) chez des coureurs de trail. Ce serait donc un moyen efficace et peu coûteux en temps et en matériel pour améliorer la performance chez les athlètes entraînés.

Effets du SIT sur des basketteurs entraînés

(Lloria-Varella, Rossi, Morin, Foschia, Rousson, Busso et Koral, soumis)

Onze jeunes joueurs de basket-ball stagiaires dans un club professionnel ont effectué six séances de SIT pendant deux semaines en présaison. Si le protocole d'entraînement était strictement équivalent à celui des coureurs de trail présenté précédemment (voir Fig. 5), nous nous sommes cette fois focalisés sur les propriétés mécaniques de l'accélération du sprint et les performances de saut, car à notre connaissance, aucune étude n'a analysé les effets d'un protocole d'entraînement basé sur le SIT à travers les relations force-vitesse. Par conséquent, nos résultats pourraient offrir des indications intéressantes pour les entraîneurs visant à améliorer rapidement les sprints sur courte

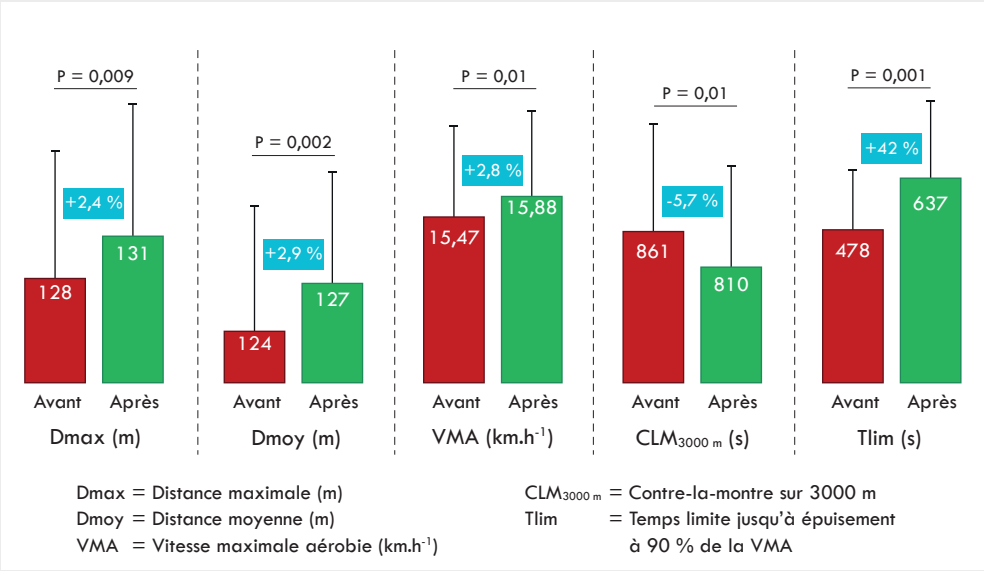

Figure 6 – Résultats de 15 jours d'entraînement en SIT chez les coureurs de trail.

distance, la capacité à répéter des sprints et les performances de saut en période de présaison. La performance a donc été évaluée au départ (PRE) et après deux semaines d'entraînement (POST) grâce à des profils force-vitesse-puissance individuels lors d'un sprint de 20 m (mesures par radar) et d'un saut en contre-mouvement (CMJ mesurés sur optojump).

Après les quinze jours d'entraînement, les temps de sprint sur 5 m (T_{5m}) et sur 10 m (T_{10m}) se sont significativement améliorés de 2 % ($p < 0,01$), ce qui démontre une capacité à accélérer et à courir plus vite pendant la première partie du sprint (0-10 m). Dans le même temps, si une légère amélioration peut être notée (-0,8 %), le temps sur 20 m n'a pas changé significativement (T_{20m} ; $p = 0,09$). C'est également le cas pour la vitesse maximale de sprint (V_{sprint}) qui, si elle a légèrement baissé (-1 %), n'a pas atteint de seuil de significativité ($p = 0,31$). Étant donné qu'un pourcentage considérable des actions réalisées au cours d'un match de basket-ball exige que les joueurs accélèrent et changent de direction rapidement sans jamais pouvoir atteindre V_{sprint} (Abdelkrim *et al.*, 2007 ; Baena-Raya *et al.*, 2020), cette très faible perte non significative de V_{sprint} n'impactera pas les performances. D'autant plus que dans un même temps, 1) la hauteur et la puissance lors des sauts en contre-mouvement (CMJ) ont également augmenté après l'entraînement de 5 et 3 % respectivement ($p < 0,01$) ; 2) l'étude du profil force-vitesse-puissance (PFVP) moyen a montré une augmentation de la force (F_0) et de la puissance maximales théoriques de 5,6 % et 4 % respectivement ($p < 0,05$), sans changement de la vitesse maximale théorique (V_0 ; $p = 0,26$).

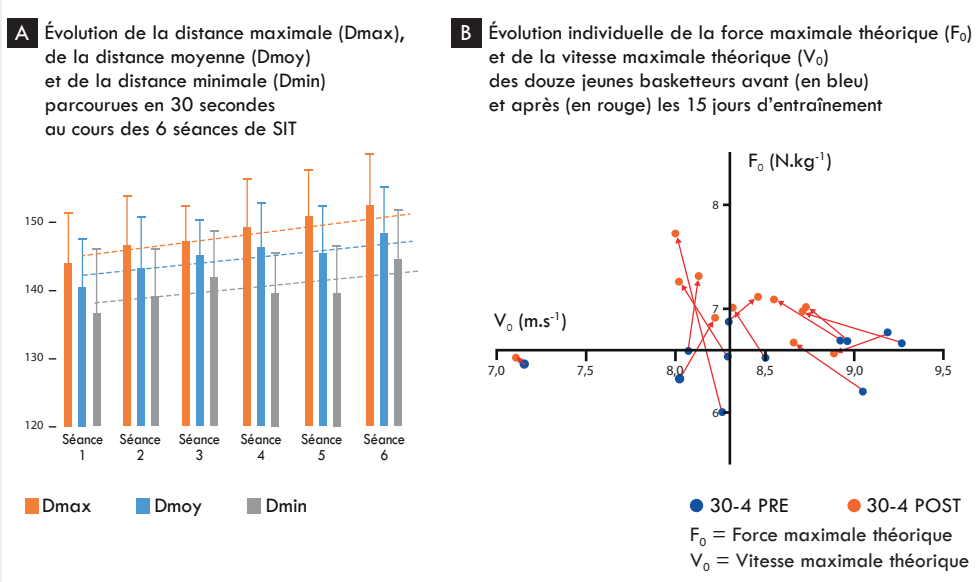

Figure 7 – Évolutions des performances avant, pendant et après le protocole SIT.

> *« Il semblerait que seules trois séances de SIT soient suffisantes pour que les jeunes basketteurs améliorent leur capacité à répéter des sprints ainsi que leur résistance à la fatigue. »*

Enfin, si nous considérons les progrès obtenus au fur et à mesure des séances, les athlètes ont significativement amélioré leurs distances maximales (Dmax) et moyennes (Dmoy) parcourues durant les sprints, de 5,8 et 5,5 % respectivement après les deux semaines d'entraînement (Fig. 7). Un autre point important vient du fait qu'il existe des améliorations significatives pour Dmax et Dmoy dès la troisième séance. L'amélioration de la Dmax suggère que les joueurs ont été capables d'augmenter leur vitesse malgré l'apparition de la fatigue. Les gains en Dmoy révèlent quant à eux la capacité à mieux récupérer entre les répétitions et à continuer à courir à intensité élevée lors des répétitions suivantes. Il semblerait donc que seules trois séances de SIT soient suffisantes pour que les jeunes basketteurs améliorent leur capacité à répéter des sprints ainsi que leur résistance à la fatigue (Figure 7). De plus, nous avons également trouvé des différences significatives entre la deuxième, la troisième et la sixième séance, ce qui indique que les joueurs ont continué à améliorer leur capacité de sprint tout au long du protocole.

Il faut malgré tout prendre ces résultats avec prudence, car il n'y avait pas de groupe contrôle pour mettre nos résultats en perspective. Ces gains importants pourraient donc être simplement dus au fait que ce protocole d'entraînement a eu lieu en présaison, car il est en général plus simple de progresser en période de reprise, et ce presque indépendamment de la forme d'entraînement.

En résumé

Les résultats présentés suggèrent qu'un entraînement basé sur six séances de SIT comprenant des accélérations, des changements de direction et des décélérations, génère des améliorations significatives pour de nombreux facteurs de la performance en basket (force, puissance, hauteur de saut, accélération et endurance de vitesse), mais pas de la vitesse maximale chez des basketteurs entraînés. Puisque les gains en force ont également été liés à la prévention des blessures chez les pratiquants de sports d'équipe, le SIT pourrait représenter un autre stimulus pour prévenir les blessures tout en continuant à améliorer les capacités physiques sur le terrain.

Forts de ces résultats, nous avons voulu savoir si le SIT était aussi performant que les méthodes communément utilisées sur le terrain pendant la présaison en football. Nous avons donc comparé le SIT aux jeux réduits et à un entraînement pliométrique à poids de corps. L'objectif était une nouvelle fois de proposer des méthodes de terrain qui n'impliquent pas de coûts importants et qui sont utilisées ou utilisables par n'importe quel entraîneur afin de déterminer si l'une est plus efficiente que les autres.

Effets de trois programmes d'entraînement de présaison sur la vitesse, le changement de direction et l'endurance chez des joueurs de football entraînés

(Koral, Lloria-Varella, Lazaro-Romero et Foschia, 2021)

Soixante-treize participants ont été répartis aléatoirement dans l'un des trois groupes expérimentaux : groupe « pliométrie » (n = 23), groupe « SIT » (n = 26) et groupe « jeux réduits » (n = 24). Chaque groupe a effectué deux séances d'entraînement spécifique (SIT, pliométrie ou jeux réduits selon le groupe d'appartenance) et une séance d'entraînement uniquement orientée « football » par semaine pendant un total de trois semaines. L'ensemble des participants a réalisé 1) un sprint de 30 m permettant de mesurer la vitesse maximale (V_{sprint}) et la capacité d'accélération ($V_{0\text{-}10m}$), 2) un test australien modifié (4 × 30 s all-out avec 4 min de récupération entre chaque répétition) permettant de mesurer la distance maximale (Dmax) et la distance moyenne (Dmoy), et 3) un test de vitesse aérobie maximale (VMA) avant (PRE) et après (POST) les trois semaines d'entraînement.

> *« Les entraînements en SIT et en pliométrie ont maximisé les paramètres de la performance alors que les jeux réduits ont eu tendance à les diminuer. »*

Comme on peut le voir dans la figure 8, après trois semaines de présaison, les performances du groupe « jeux réduits » ont diminué en $V_{0\text{-}10m}$ (-0,84 km h^{-1}, -4 %, $p < 0,001$), en Dmax (-3,65 m, -3 %, $p < 0,01$) et en VMA (-0,52 km $h^{-1,}$ -3 %, $p < 0,01$). La V_{sprint} et la Dmoy n'ont pas évolué. Le groupe « pliométrie » a augmenté significativement sa Dmoy (+5,98 m, 5 %, $p < 0,001$) et sa VMA (+0,58 km h^{-1}, 7 %, $p < 0,01$) ; à l'opposé sa V_{sprint} a diminué (-0,64 km h^{-1}, 2 % ; $p < 0,05$). Le reste des paramètres ($V_{0\text{-}10m}$, et Dmax) n'ont pas évolué tandis qu'une amélioration de tous les paramètres à l'exception de V_{sprint} a été constatée dans le groupe SIT ($V_{0\text{-}10m}$: +1,462 km h^{-1}, 8 %, p

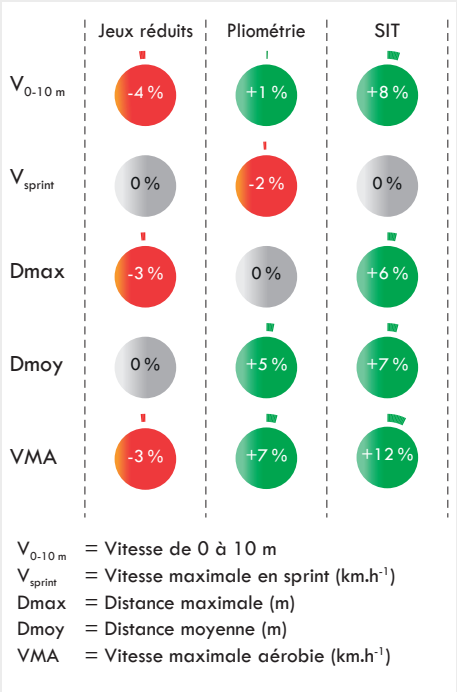

Figure 8 – Résultats obtenus après trois semaines d'entraînement.

< 0,001 ; Dmax : +7,89 m, 6 %, p < 0,001 ; Dmoy : +8,69 m, 7 %, p < 0,001 et VMA : +1,74 km h^{-1}, 12 %, p < 0,001).

En d'autres termes, cette étude a montré des évolutions significativement opposées. Les entraînements en SIT et en pliométrie ont maximisé les paramètres de la performance alors que les jeux réduits ont eu tendance à les diminuer. En outre, il semblerait que le SIT soit plus efficace que la pliométrie lorsqu'il s'agit d'améliorer Dmoy et VMA.

En résumé

Dans la mesure où les entraîneurs modernes doivent faire face à une période de compétitions de plus en plus chargée, ce qui réduit le temps de préparation disponible, les résultats de cette étude démontrent que le SIT pourrait être une alternative plus efficace que les jeux réduits et la pliométrie lorsqu'il s'agit d'améliorer les performances d'endurance et anaérobies en présaison. En outre, comme la capacité à effectuer des sprints répétés pourrait être l'un des meilleurs facteurs physiques différenciant le niveau de jeu des joueurs de football, le SIT pourrait être indifféremment utilisé comme un entraînement efficace et comme une méthode de test.

À la suite des résultats prometteurs de cette étude, nous nous sommes demandé si nous ne pourrions pas être encore plus efficaces, notamment en termes d'amélioration de V_{sprint}, en proposant de faire du SIT sur des temps plus courts (15 s au lieu de 30 s), avec des temps de récupération proportionnellement plus courts également (2 min au lieu de 4 min).

Effets combinés de deux protocoles de SIT sur les performances aérobies, de sprint et de répétition de sprints chez des footballeuses de niveau national et des footballeurs de niveau régional

(Gallet, Hallier et Koral, données préliminaires)

Nous avons donc proposé de tester deux conditions (Fig. 9) :

1. Du SIT dit « long », c'est-à-dire avec des temps de travail de 30 s, en nous basant sur les mêmes protocoles que précédemment (de 4 à 7 répétitions).
2. Du SIT dit « court » avec 15 s d'effort et 2 min de récupération avec 8 à 14 répétitions pour respecter un volume de travail et de récupération équivalent au protocole 30 s/4 min.

Vingt-trois joueurs et joueuses de football de niveau régional à national se sont portés volontaires. Les participants ont été répartis aléatoirement dans l'un des deux groupes :

A. Le Groupe SL > SC débutait par trois semaines de sprints longs (30 s/4 min) puis enchaînait par trois semaines de sprints courts (15 s/2 min).

B. Le Groupe SC > SL débutait à l'inverse par trois semaines de sprints courts (15 s/2 min) puis enchaînait par trois semaines de sprints longs (30 s/4 min).

Après une procédure de familiarisation, le protocole expérimental comprenait des pré-tests et trois semaines de protocole (en 30 s/4 min ou 15 s/2 min en fonction du groupe), des middle-tests, puis à nouveau trois semaines du second protocole (15 s/2 min ou 30 s/4 min respectivement) et des post-tests. L'ensemble des séquences de

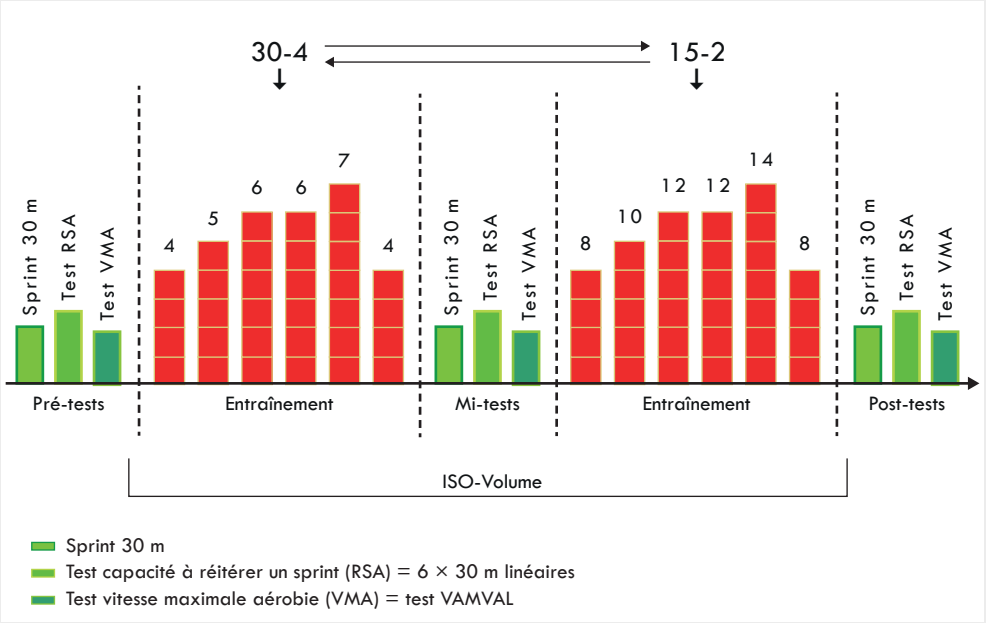

Figure 9 – Protocole expérimental des effets combinés de deux protocoles de SIT en football.

tests (PRE, MID, POST) était composé dans l'ordre d'un sprint de 30 m linéaire, d'une répétition de 6 × 30 m linéaires (RSA) et d'un test de VMA. Chaque athlète bénéficiait de 12 min entre chaque test (Fig. 9). Tous les 30 m linéaires (Sprint et RSA) ont été filmés et traités grâce à l'application Mysprint de façon à définir les profils force-vitesse-puissance de chaque participant.

La $V_{0\text{-}10m}$ a augmenté de façon non significative, tant au bout de trois que de six semaines pour le groupe SL > SC, alors qu'elle a baissé de façon non significative après trois semaines de SIT court, puis a augmenté significativement de 4 % ($p < 0,05$) après les trois semaines de SIT long. L'ordre des méthodes SIT et les six semaines d'entraînement n'ont pas impacté la V_{sprint}.

Concernant les paramètres du profil force-vitesse, la V_0 a diminué dans les deux groupes tant au bout de trois que de six semaines (baisses non significatives pour le groupe SC > SL, baisses significatives pour le groupe SL > SC [$p < 0,05$]). La Pmax et la F_0 ont évolué différemment selon les groupes : le groupe SL > SC a amélioré ses performances à trois semaines (Pmax +2 % et F_0 +9 %) et à six semaines (Pmax +5 % et F_0+12 %) alors que le groupe SC > SL a d'abord vu sa puissance et sa force baisser non significativement (Pmax -5 % et F_0 -3 %) pour augmenter de façon significative après 6 semaines (Pmax +12 % et F_0 +17 %) [Fig. 10].

Si au bout de six semaines, les deux groupes ont obtenu des améliorations significatives de la VMA (SL > SC : +9 %, $p < 0,01$

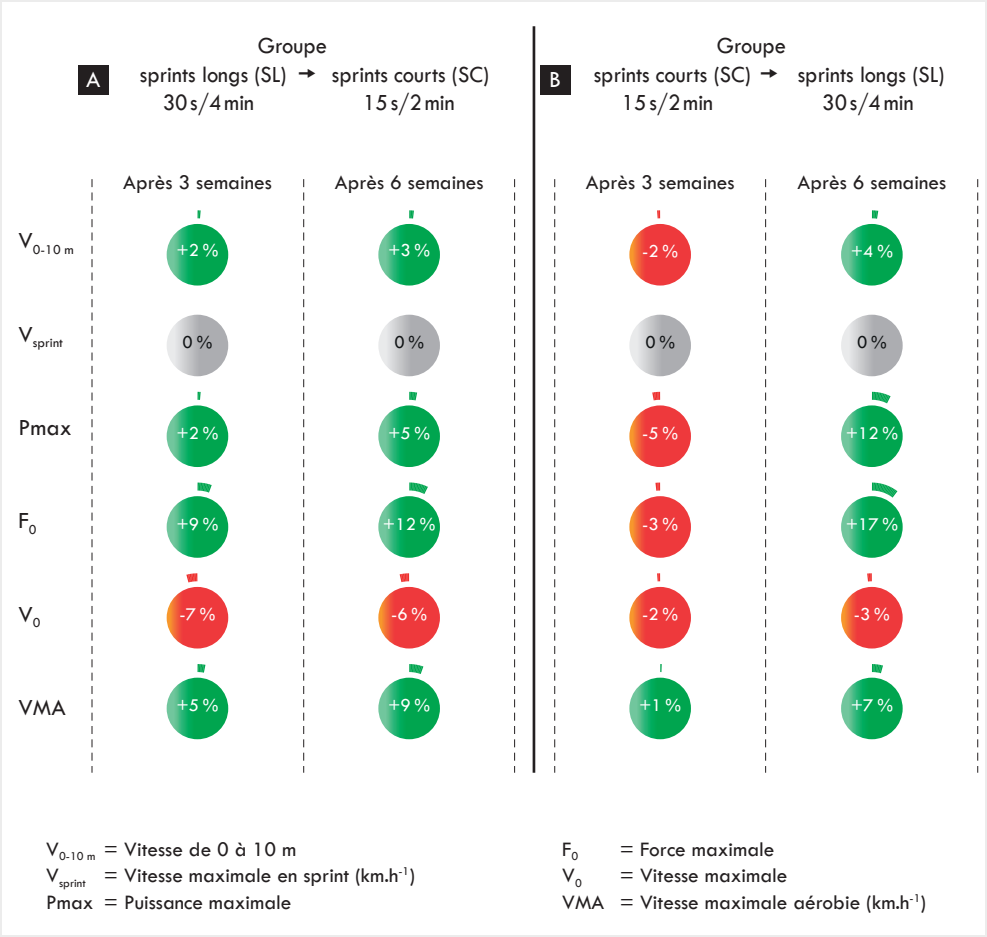

Figure 10 – Comparaison des effets après trois et six semaines d'entraînement en utilisant deux méthodes de sprint interval training présentées dans un ordre opposé Sprints Longs → Sprints Courts *vs* Sprints Courts → Sprints Longs.

« Tous les 30 m linéaires (Sprint et RSA) ont été filmés et traités grâce à l'application Mysprint de façon à définir les profils force-vitesse-puissance de chaque participant. »

« ... les études préliminaires semblent montrer que le SIT a un effet protecteur au niveau des blessures... »

et SC > SL : +7 %, p < 0,001), seul le groupe SL > SC améliore de façon significative sa VMA (+5 %, p < 0,01) dès trois semaines d'entraînement.

Notre étude a démontré que deux protocoles combinés de SIT amélioraient les performances aérobies, de puissance, de sprint court et de force chez des footballeurs de niveau régional, avec des résultats qui sous-entendent une programmation de l'entraînement différente en fonction du temps disponible lors de la présaison.

En résumé

Il semblerait que le choix de la méthode SIT soit conditionné par l'objectif (court ou moyen terme) et/ou par le temps disponible en présaison. Si l'entraîneur veut des résultats rapides ou s'il n'a que de deux à trois semaines en présaison, il vaudrait mieux faire du SIT long qui permet une amélioration rapide (mais plus mesurée) de tous les facteurs de la performance sauf V_0. À l'inverse, si le temps à disposition est plus important (environ 6 semaines), l'entraîneur pourrait proposer une méthode SIT mixte (court puis long) qui permettra un développement plus important des principaux facteurs de la performance tout en minimisant la baisse de V_0.

Conclusion

À l'heure où les entraîneurs ont de moins en moins de temps pour préparer leurs athlètes, le choix de méthodes d'entraînement efficientes est crucial. Dans le cas des sports collectifs, c'est encore plus vrai, notamment quand il s'agit de développer sa VMA sans impacter négativement sa vitesse maximale de sprint. Dès lors, il nous semble que le SIT peut être une bonne solution. En effet, les protocoles que nous avons utilisés comprennent six séances réparties sur deux à trois semaines. Et, suite à ces courtes périodes d'entraînement, les sportifs ont vu leur VMA augmenter très significativement tout en conservant leur vitesse de sprint, voire en l'améliorant.

Même si la vitesse maximale de sprint doit rester un point de vigilance, très peu d'actions de jeu permettront aux sportifs de l'atteindre lors d'un match. En revanche, ils vont devoir répéter une multitude de sprints courts auxquels s'ajoutent souvent des changements de direction. Le SIT est donc extrêmement intéressant, car il permet non seulement de développer sa puissance maximale et sa puissance moyenne, mais également sa vitesse de « démarrage » (V0-5m) ainsi que sa vitesse sur 0 à 10 m.

Enfin, les études préliminaires semblent montrer que le SIT a un effet protecteur au niveau des blessures même lorsqu'il est utilisé lors de la présaison. ■

À retenir

- Les entraînements par intervalles de haute à très haute intensité sont des méthodes très intéressantes pour le développement des facteurs de la performance.
- Le type d'entraînement SIT est conditionné par le temps à disposition.
- La vitesse maximale de sprint est peu impactée par le SIT alors que dans un même temps la vitesse maximale aérobie peut être améliorée très rapidement.
- La vitesse de démarrage ($V_{0\text{-}10\ m}$) s'améliore grâce à l'entraînement en SIT.
- Le SIT pourrait avoir un rôle protecteur au niveau de la prévention des blessures, notamment car F_0 augmente.
- Il est possible d'améliorer ses performances tout en optimisant son temps de travail.

Bibliographie

Abdelkrim, N. B., Fazaa, S. E. et Ati, J. E. (2007). Time–motion analysis and physiological data of elite under-19-year-old basketball players during competition. *British Journal of Sports Medicine, 41*(2), 69-75. https://doi.org/10.1136/bjsm.2006.032318

Astorino, T. A., Allen, R. P., Roberson, D. W., Jurancich, M., Lewis, R. et McCarthy, K. (2011). Attenuated RPE and leg pain in response to short-term high-intensity interval training. *Physiol Behav, 105*, 402-407. https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2011.08.040

Astorino, T. A., Allen, R. P., Roberson, D. W. et Jurancich, M. (2012). Effect of high-intensity interval training on cardiovascular function, VO2max, and muscular force. *J Strength Cond Res, 26*, 138-145. https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318218dd77

Aziz, A. R., Mukherjee, S., Chia, M. Y. et Teh, K. C. (2007). Relationship between measured maximal oxygen uptake and aerobic endurance performance with running repeated sprint ability in young elite soccer players. *J. Sports Med. Phys. Fitness, 47*, 401-407.

Baena-Raya, A., Soriano-Maldonado, A., Conceição, F., Jiménez-Reyes, P. et Rodríguez-Pérez, M. A. (2020). Association of the vertical and horizontal force-velocity profile and acceleration with change of direction ability in various sports. *European Journal of Sport Science*, 1-21. https://doi.org/10.1080/17461391.2020.1856934

Bayati, M., Farzad, B., Gharakhanlou, R. et Agha-Alinejad, H. A. (2011). A practical model of low-volume high-intensity interval training induces performance and metabolic adaptations that resemble "allout" sprint interval training. *J Sports Sci Med*, *10*, 571-576.

Bishop, D. et Edge, J. (2006). Determinants of repeated-sprint ability in females matched for single-sprint performance. *Eur. J. Appl. Physiol., 97*, 373-379. https://doi.org/10.1007/s00421-006-0182-0

Bogdanis, G. C., Nevill, M. E., Boobis, L. H. et Lakomy, H. K. (1996). Contribution of phosphocreatine and aerobic metabolism to energy supply during repeated sprint exercise. *J Appl Physiol, 80*, 876-884. https://doi.org/10.1152/jappl.1996.80.3.876

Brown, P. I., Hughes, M. G. et Tong, R. J. (2007). Relationship between VO2max and repeated sprint ability using non-motorised treadmill ergometry. *J. Sports Med. Phys. Fitness, 47*, 186-190.

Buchheit, M. et Laursen, P. B. (2013). High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: Cardiopulmonary emphasis. *Sports Med, 43*, 313-338. https://doi.org/10.1007/s40279-013-0029-x

Burgomaster, K. A., Hughes, S. C., Heigenhauser, G.J., Bradwell, S. N. et Gibala, M. J. (2005). Six sessions of sprint interval training increases muscle oxidative potential and cycle endurance capacity in humans. *J Appl Physiol, 9*, 1985-1990. https://doi.org/10.1152/japplphysiol.01095.2004

Burgomaster, K. A., Heigenhauser, G. J. et Gibala, M. J. (2006). Effect of shortterm sprint interval training on human skeletal muscle carbohydrate metabolism during exercise and time-trial performance. *J Appl Physiol, 100*, 2041-2047. https://doi.org/10.1152/japplphysiol.01220.2005

Burgomaster, K. A., Howarth, K. R., Phillips, S. M., Rakobowchuk, M., MacDonald, M. J., McGee, S. L. et Gibala, M. J. (2008). Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans. *J Physiol, 586*, 151-160. https://doi.org/10.1113/jphysiol.2007.142109

Cooper, S. B., Bandelow, S., Nute, M. L., Dring, K. J., Stannard, R. L., Morris, J. G. et Nevill, M. E. (2016). Sprint-based exercise and cognitive function in adolescents. *Prev Med Rep*, *4*, 155-161. https://doi.org/10.1016/j.pmedr.2016.06.004

Cicioni-Kolsky, D., Lorenzen, C., Williams, M. D. et Kemp, J. G. (2013). Endurance and sprint benefits of high-intensity and supramaximal interval training. *Eur J Sport Sci, 13*, 304-311. https://doi.org/10.1080/17461391.2011.606844

Demarie, S., Koralsztein, J. P. et Billat, V. (2000). Time limit and time at VO2max' during a continuous and an intermittent run. *J Sports Med Phys Fitness, 40*(2), 96-102. PMID : 11034428.

Denham, J., Feros, S. A. et O'Brien, B. J. (2015). Four weeks of sprint interval training improves 5-km run performance. *J Strength Cond Res, 29*, 2137-2141. https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1102316

Elliott, A. D., Rajopadhyaya, K., Bentley, D. J., Beltrame, J. F. et Aromataris, E. C. (2015). Interval training versus continuous exercise in patients with coronary artery disease: a meta-analysis. *Heart Lung Circ, 24*(2), 149-157. https://doi.org/10.1016/j.hlc.2014.09.001

Farzad, B., Gharakhanlou, R., Agha-Alinejad, H., Curby, D. G., Bayati, M., Bahraminejad, M. et Maestu, J. (2011). Physiological and performance changes from the addition of a sprint interval program to wrestling training. *J Strength Cond Res, 25*, 2392-2399. https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181fb4a33

Gaitanos, G. C., Williams, C., Boobis, L. H. et Brooks, S. (1993). Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. *J Appl Physiol, 75*, 712-719. https://doi.org/10.1152/jappl.1993.75.2.712

García-Hermoso, A., Cerrillo-Urbina, A. J., Herrera-Valenzuela, T., Cristi-Montero, C., Saavedra, J. M. et Martínez-Vizcaíno, V. (2016). Is high-intensity interval training more effective on improving cardiometabolic risk and aerobic capacity than other forms of exercise in overweight and obese youth? A meta-analysis. *Obes Rev, 17*(6), 531-540. https://doi.org/10.1111/obr.12395

Gist, N. H., Fedewa, M. V., Dishman, R. K. et Cureton, K. J. (2014). Sprint interval training effects on aerobic capacity: A systematic review and meta-analysis. *Sports Med, 44*, 269-279. https://doi.org/10.1007/s40279-013-0115-0

Glaister, M. (2005). Multiple sprint work: Physiological responses, mechanisms of fatigue and the influence of aerobic fitness. *Sports Med, 35*, 757-777. https://doi.org/10.2165/00007256-200535090-00003

Guiraud, T., Nigam, A., Gremeaux, V., Meyer, P., Juneau M. et Bosquet, L. (2012) High-intensity interval training in cardiac rehabilitation. *Sports Med, 42*(7), 587-605. https://doi.org/10.2165/11631910-000000000-00000

Hazell, T. J., MacPherson, R. K., Gravelle, B. R. et Lemon, P. R. (2010). 10 or 30-s sprint interval training bouts enhance both aerobic and anaerobic performance. *Eur J Appl Physiol, 110*, 153-160. https://doi.org/10.1007/s00421-010-1474-y

Helgerud, J., Engen, L. C., Wisløff, U. et Hoff, J. (2001). Aerobic endurance training improves soccer performance. *Med. Sci. Sports Exerc., 33*, 1925-1931. https://doi.org/10.1097/00005768-200111000-00019

Helgerud, J., Høydal, K., Wang, E., Karlsen, T., Berg, P., Bjerkaas, M., Simonsen, T., Helgesen, C., Hjorth, N., Bach, R. et Hoff, J. (2007). Aerobic high-intensity intervals improve VO2max more than moderate training. *Med Sci Sports Exerc, 39*(4), 665-671. https://doi.org/10.1249/mss.0b013e3180304570

Issurin, V. B. (2008). Block periodization versus traditional training theory: a review. *J. Sports Med. Phys. Fitness, 48*, 65-75.

Issurin, V. B. (2010). New horizons for the methodology and physiology of training periodization. *Sports Med, 40*, 189-206. https://doi.org/10.2165/11319770-000000000-00000

Jakeman, J., Adamson, S. et Babraj, J. (2012). Extremely short duration high-intensity training substantially improves endurance performance in triathletes. *Appl Physiol Nutr Metab, 37*, 976-981. https://doi.org/10.1139/h2012-083

Koral, J., Oranchuk, D. J., Herrera, R., Millet, G. (2018). Six sessions of Sprint Interval Training improves running performance in trained athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *32*(3), 617-623. https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002286

Koral, J., Lloria-Varella, J., Lazaro-Romero, F. et Foschia, C. (2021). Effects of three pre-season training programs on speed, change-of-direction and endurance in recreationally trained soccer players. A pilot study in the field. *Frontiers in physiology*, 12. https://doi.org/10.3389/fphys.2021.719580

Laursen, P. B. et 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. https://doi.org/10.2165/00007256-200232010-00003

MacDougall, J. D., Hicks, A. L., MacDonald, J. R., McKelvie, R. S., Green, H. J. et Smith, K. M. (1998). Muscle performance and enzymatic adaptations to sprint interval training. *J Appl Physiol 84*, 2138-2142. https://doi.org/10.1152/jappl.1998.84.6.2138

MacInnis, M. J. et Gibala, M. J. (2017). Physiological adaptations to interval training and the role of exercise intensity: Training adaptations and the nature of the stimulus. *The Journal of Physiology, 595*(9), 2915-2930. https://doi.org/10.1113/JP273196

Mallo, J. et Navarro, E. (2008). Physical load imposed on soccer players during small-sided training games. *J. Sports Med. Phys. Fitness, 48*, 166-171.

McKenna, M. J., Heigenhauser, G. J., McKelvie, R. S., Obminski, G., MacDougall, J. D. et Jones, N. L. (1997). Enhanced pulmonary and active skeletal muscle gas exchange during intense exercise after sprint training in men. *J Physiol, 501*, 703-716. https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.1997.703bm.x

Macpherson, R. E., Hazell, T. J., Oliver, T. D., Paterson, D. H. et Lemon, P. W. (2011). Run sprint interval training improves aerobic performance but not maximal cardiac output. *Med Sci Sports Exerc, 43*, 115-122. https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181e5eacd

Mercier, D. (2002). Utilisation de la courbe individuelle intensité-durée à des fins d'entraînement. *Les Cahiers de l'INSEP, 33*, 225-228. https://doi.org/10.3406/insep.2002.1700

Milanović, Z., Sporiš, G. et Weston, M. (2015). Effectiveness of high-intensity interval training (HIT) and continuous endurance training for VO2max improvements: A systematic review and meta-analysis of controlled trials. *Sports Med, 45*, 1469-1481. https://doi.org/10.1007/s40279-015-0365-0

Morin, J.-B. et Samozino, P. (2021). Détente verticale : approche individualisée de l'entraînement basée sur le profil force-vitesse. *Réflexions Sport, 27*, 22-37. https://www.calameo.com/read/003232740f7dbfd818aa3

Noakes, T. (2007). *Lore of running* (5e édition). Human Kinetics.

Paavolainen, L., Keijo, H., Ismo, H., Ari, N. et Keikki, R. (1999). Explosive strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *J Appl Physiol, 86*, 1527-1533. https://doi.org/10.1152/jappl.1999.86.5.1527

Padulo, J., Attene, G., Ardigo, L. P., Bragazzi, N. L., Maffulli, N., Zagatto, A. M. et Dello Iacono, A. D. (2016). Can a repeated sprint ability test help clear a previously injured soccer player for fully functional return to activity? A pilot study. *Clin J Sport Med, 27*, 361-368. https://doi.org/10.1097/JSM.0000000000000368

Parra, J., Cadefau, J., Rodas, G., Amigó, N. et Cussó, R. (2000). The distribution of rest periods affects performance and adaptations of energy metabolism induced by high-intensity training in human muscle. *Acta Physiol Scand, 169*, 157-165. https://doi.org/10.1046/j.1365-201x.2000.00730.x

Parolin, M. L., Chesley, A., Matsos, M. P., Spriet, L. L., Jones, N. L. et Heigenhauser, G. J. (1999). Regulation of skeletal muscle glycogen phosphorylase and PDH during maximal intermittent exercise. *Am J Physiol, 277*, E890-E900. https://doi.org/10.1152/ajpendo.1999.277.5.E890

Pattyn, N., Coeckelberghs, E., Buys, R., Cornelissen, V. A. et Vanhees, L. (2014). Aerobic interval training vs. moderate continuous training in coronary artery disease patients: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med, 44*(5), 687-700. https://doi.org/10.1007/s40279-014-0158-x

Rodas, G., Ventura, J. L., Cadefau, J. A. *et al.* (2000). A short training programme for the rapid improvement of both aerobic and anaerobic metabolism. *Eur J Appl Physiol, 82*: 480-486. https://doi.org/10.1007/s004210000223

Ross, A. et Leveritt, M. (2001). Long-term metabolic and skeletal muscle adaptations to short-sprint training: Implications for sprint training and tapering. *Sports Med, 31*, 1063-1082. https://doi.org/10.2165/00007256-200131150-00003

Rowan, A. E., Kueffner, T. E. et Stavrianeas, S. (2012). Short duration high-intensity interval training improves aerobic conditioning of female college soccer players. *Int J Ex Sci, 5*, 232-238. https://digitalcommons.wku.edu/ijes/vol5/iss3/6/

Taylor, J., Macpherson, T., Spears, I. et Weston, M. (2015). The effects of repeated-sprint training on field-based fitness measures: A metaanalysis of controlled and non-controlled trials. *Sports Med, 45*, 881-891. https://doi.org/10.1007/s40279-015-0324-9

Talanian, J. L., Galloway, S. D. R., George, J. F., Heigenhauser, G., Bonen, A. et Spriet, L. L. (2007). Two weeks of high-intensity aerobic interval training increases the capacity for fat oxidation during exercise in women. *J Appl Physiol, 102*, 1439-1447. https://doi.org/10.1152/japplphysiol.01098.2006

Trump, M. E., Heigenhauser, G. J., Putman, C. T. et Spriet, L. L. (1996). Importance of muscle phosphocreatine during intermittent maximal cycling. *J Appl Physiol, 80*, 1574-1580. https://doi.org/10.1152/jappl.1996.80.5.1574

Weston, M., Taylor, K. L., Batterham, A. M. et Hopkins, W. G. (2014). Effects of low-volume high-intensity interval training (HIT) on fitness in adults: A meta-analysis of controlled and non-controlled trials. *Sports Med, 44*, 1005-1017. https://doi.org/10.1007/s40279-014-0180-z

Whyte, L. J., Gill, J. M. et Cathcart, A. J. (2010). Effect of 2 weeks of sprint interval training on health-related outcomes in sedentary overweight/obese men. *Metabolism, 59*(10), 1421-1428. https://doi.org/10.1016/j.metabol.2010.01.002

Willoughby, T., Thomas, M., Schmale, M., Copeland, J., Tom, J. et Hazell, T. (2015). Four weeks of running sprint interval training improves cardiorespiratory fitness in young and middle-aged adults. *J Sport Sci, 34*(13), 1207-1214. https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1102316

MINISTÈRE
DES SPORTS
ET DES JEUX OLYMPIQUES
ET PARALYMPIQUES
Liberté
Égalité
Fraternité

INSEP

**INSTITUT NATIONAL DU SPORT,
DE L'EXPERTISE ET DE LA PERFORMANCE**

11, avenue du Tremblay - 75012 PARIS
Tél. 01 41 74 41 00
www.insep.fr

adidas
TOP PARTENAIRE

TOYOTA
PARTENAIRE OFFICIEL