

*Travail de Master pour l'obtention du titre Master of Science
Unité « Sciences du Mouvement et du Sport »
Université de Fribourg*

**COURIR MIEUX POUR COURIR PLUS VITE ET PLUS
LONGTEMPS :
L'INTÉGRATION D'UN APPAREIL PORTATIF DE
MESURE ET D'OPTIMISATION DES PERFORMANCES
MUSCULAIRES DANS LES ENTRAÎNEMENTS DE
COURSE À PIED**



Conseiller : Dr. Wolfgang Taube
Co-conseiller : Prof. Alain Rouvenaz

Travail réalisé par
Frédéric Page

Juillet 2012

TABLE DES MATIERES

1	RESUME	4
2	INTRODUCTION	5
3	PROBLEMATIQUE.....	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
4	APPROCHE THEORIQUE	7
4.1	ENDURANCE EN COURSE A PIED : FACTEURS DETERMINANTS DE LA PERFORMANCE.....	7
4.1.1	<i>Facteurs physiologiques, énergétiques :</i>	<i>8</i>
4.1.2	<i>Facteurs biomécaniques, musculaires :</i>	<i>10</i>
4.1.3	<i>Autres déterminants de performance.....</i>	<i>11</i>
4.2	FOCUS SUR LES FACTEURS BIOMECANIQUES DE LA PERFORMANCE EN ENDURANCE	11
4.2.1	<i>Approche de la foulée en course à pied.....</i>	<i>11</i>
4.2.2	<i>Activité musculaire principale dans la course à pied</i>	<i>15</i>
4.2.3	<i>Stockage et restitution d'énergie.....</i>	<i>16</i>
4.3	COUT ENERGETIQUE DE LA COURSE A PIED	17
4.3.1	<i>Facteurs qui influencent le Cr</i>	<i>18</i>
4.3.2	<i>Méthodes pour améliorer le Cr de la foulée</i>	<i>21</i>
4.4	MYOTEST SA	26
4.4.1	<i>Myotest RUN</i>	<i>27</i>
4.4.2	<i>Fonctionnement de l'appareil.....</i>	<i>28</i>
4.4.3	<i>Validité des mesures.....</i>	<i>33</i>
5	ETUDE COMPARATIVE ENTRE DEUX PROGRAMMES D'ENTRAINEMENT EN	
	ENDURANCE	37
5.1	OBJECTIFS	37
5.2	METHODE.....	37
5.2.1	<i>Sujets.....</i>	<i>37</i>

5.2.2	<i>Protocole</i>	38
5.3	MESURES	43
5.3.1	VAMEVAL	44
5.3.2	« Myocheck »	45
5.3.3	<i>Limites à prendre en compte</i>	45
5.4	RESULTATS	46
5.4.1	VAMEVAL	46
5.4.2	« Myocheck »	46
5.4.3	<i>Sondage</i>	48
5.5	DISCUSSION ET INTERPRETATION DES RESULTATS	50
5.5.1	<i>Blessures</i>	50
5.5.2	VAMEVAL	51
5.5.3	« Myocheck »	52
5.5.4	<i>Sondage</i>	56
5.6	POINTS FORTS ET POINTS FAIBLES DE L'ETUDE	57
6	CONCLUSION	59
7	REMERCIEMENTS	61
8	BIBLIOGRAPHIE	62
9	TABLE DES ILLUSTRATIONS	66
10	DECLARATION PERSONNELLE	68
11	DROITS D'AUTEUR	69
12	ANNEXES	70

1 Résumé

Objectif : Le « Myotest Run », commercialisé en 2008, permet de mesurer les qualités musculaires d'un sujet pour ensuite lui proposer des séances d'entraînement adaptées à ses points forts et ses points faibles. Ces séances s'articulent autour d'exercices visant principalement à améliorer l'efficacité de la foulée du coureur. En effet, de récentes études scientifiques ont démontré des effets positifs sur le coût énergétique de la foulée et sur les performances en endurance de coureurs de fond ayant ajouté des séances de force dans leur programme d'entraînement.

Cette étude a pour principal objectif d'évaluer l'efficacité du programme d'entraînement proposé par le « Myotest Run » sur les performances en endurance d'un groupe de sujets. Nous chercherons également à déterminer si les progrès de ces derniers ont un lien direct avec une éventuelle optimisation de leurs qualités musculaires.

Méthode : 20 individus de niveau moyen en course à pied sont séparés en deux groupes. Le groupe contrôle (C) s'entraîne 3 fois par semaine, durant 6 semaines, en suivant un programme « standard » en endurance. Le groupe expérimental (E) s'entraîne selon le programme « Myotest Run », 3 séances par semaine, durant 6 semaines. Une série de tests initiaux et finaux permettront d'évaluer l'efficacité du programme d'entraînement estampillé « Myotest Run », par rapport à un programme « standard » en endurance.

Résultats : Les deux groupes ont augmenté leur VMA suite aux 6 semaines d'entraînement, de 0.7 km/h de moyenne pour le groupe C et 0.6 km/h de moyenne pour le groupe E. Les résultats du « Myocheck » n'ont pas pu confirmer l'hypothèse de départ. Ils ne démontrent aucune progression significative des caractéristiques musculaires des participants des deux groupes, voire même une légère régression dans certains facteurs.

Conclusion : Les résultats attestent de l'efficacité du programme d'entraînement développé par la société « Myotest ». Par contre, les résultats du « Myocheck » ne nous permettent pas de voir un quelconque rapport entre ces progrès et l'évolution des caractéristiques musculaires des participants des deux groupes. Une étude de plus grande envergure s'avère nécessaire.

2 Introduction

Science, technique et mécanique sont réunis dans un petit boîtier orange et s'invitent dans le monde de la course à pied. Le « Myotest Run » se veut être un coach électronique développé et destiné à des coureurs de tout niveau. Cet appareil compact mesure vos performances musculaires, analyse vos résultats et optimise votre entraînement afin d'améliorer l'efficacité de votre foulée. L'un de ses atouts principaux est de pouvoir mesurer les performances de l'athlète directement sur le terrain, sans passer par un laboratoire.

Dès la fin des années 1980, certaines études viennent ébranler les convictions profondes des sportifs d'endurance. Il serait possible d'améliorer nos performances en endurance en agissant sur des aspects biomécaniques liés à la gestuelle de l'athlète, en réduisant donc le coût énergétique de la foulée du coureur. Ces découvertes permettent en partie d'expliquer les différences de performance entre deux coureurs qui ont la même VO₂max. Une brèche est alors ouverte dans le monde de l'endurance. Dans les années 1990 et 2000, de nombreux chercheurs et entraîneurs vont tester de nouvelles méthodes d'entraînement qui ont pour principal objectif d'améliorer le coût énergétique du coureur à pied. Désormais, les performances en endurance ne reposent plus que sur des aspects métaboliques mais, également sur des facteurs d'ordre biomécanique, liés au coût énergétique de la foulée.

C'est dans ce contexte propice que la société « Myotest » de Sion décide, en 2008, de commercialiser son nouveau produit, le « Myotest Run ». Le petit boîtier orange contient un accéléromètre triaxial qui permet de mesurer les performances en force, extension, réactivité, stiffness¹ et coordination du coureur à pied, à travers deux exercices de sauts verticaux. D'après les résultats du test, l'appareil va programmer des séances d'entraînement adaptées aux besoins de son utilisateur. Les exercices proposés à celui-ci s'inspirent des dernières méthodes d'entraînement et ont pour objectif principal d'améliorer l'efficacité de sa foulée et indirectement donc, ses performances en course de moyenne et de longue distance.

¹ Traduction française : raideur musculaire

2. Introduction

Cet appareil répond assurément à une demande des consommateurs. Le sportif d'aujourd'hui, quel que soit son niveau, a tendance à vouloir comprendre, mesurer et analyser ses performances. Sciences et technologies sont des gages de sécurité, de confort, dans notre société moderne.

L'objectif premier de cette étude est très clair. Il s'agit de déterminer l'efficacité du programme d'entraînement que propose l'appareil « Myotest Run » sur nos performances en endurance. L'hypothèse à la base de cette étude est la suivante : « Le programme d'entraînement en course à pied proposé par la société Myotest permet au coureur d'augmenter sa VMA et donc ses performances en endurance, ceci principalement grâce au développement de ses caractéristiques musculaires ». Cette hypothèse de départ se base sur de récentes études ayant constaté les bienfaits d'un travail de renforcement musculaire sur les performances en endurance de coureurs débutants ou confirmés en course à pied de longue distance.

Pour répondre à ce premier objectif et vérifier notre hypothèse de départ, une étude est menée avec 20 coureurs volontaires, séparés en deux groupes, contrôle (C) et expérimental (E). Le groupe C s'entraîne en suivant un plan d'entraînement qu'on peut qualifier de « standard » en endurance. Le groupe E suit lui un programme spécifique dicté par l'appareil « Myotest Run ». Le volume d'entraînement des deux groupes est quasi identique. Suite aux 6 semaines d'entraînement, les résultats des tests de VMA initiaux et finaux seront comparés entre eux afin de démontrer lequel des deux programmes est le plus efficace en vue d'une préparation en course à pied de moyenne ou de longue distance.

Puis, les tests « Myocheck », proposés par l'appareil « Myotest Run », nous permettront peut-être d'observer des évolutions significatives au niveau des qualités musculaires des sujets des deux groupes. Ainsi, nous pourrons vérifier s'il existe un lien quelconque entre les qualités musculaires d'un coureur et ses performances en endurance.

L'objectif secondaire de cette étude est quant à lui plus subjectif. Il consiste à sonder les participants du groupe expérimental sur leur appréciation et sur l'apport éventuel d'un tel appareil dans une préparation en course à pied de moyenne ou de longue distance.

3 Approche théorique

Dans cette partie, quelques principes indispensables à la compréhension de cette étude sont développés. Un rappel des différents facteurs déterminant la performance en endurance s'avère nécessaire avant de se plonger plus spécifiquement dans les aspects biomécaniques liés à la course à pied. Une vaste revue de la littérature scientifique accompagne et explique les bases théoriques sur lesquelles repose ce travail. Ensuite, une présentation de l'appareil qui est au cœur de ce travail, le « Myotest Run », viendra ponctuer cette partie introductive.

3.1 Endurance en course à pied : facteurs déterminants de la performance

La course à pied est un domaine extrêmement vaste. Les disciplines sont nombreuses et ne demandent pas la même préparation ni les mêmes caractéristiques aux athlètes. La préparation physique d'un sprinteur est axée autour des composantes de force et de vitesse, qui, couplées engendrent la puissance. Ils travaillent principalement dans la filière anaérobie en utilisant les réserves d'ATP directement disponibles. Les coureurs de fond (distance supérieur à 3000 mètres) ont l'habitude de s'entraîner en endurance, voire en force - endurance ou en vitesse - endurance. Leur entraînement s'est longtemps cantonné dans la filière aérobie. Les méthodes d'entraînement en endurance d'aujourd'hui ont toutefois passablement évolué², nous y reviendrons par la suite.

Les caractéristiques morphologiques, physiologiques, métaboliques et musculaires d'un sprinteur diffèrent passablement de celles d'un marathonien.

Dans ce travail, nous nous intéressons spécifiquement aux coureurs de fond. Leurs méthodes d'entraînement sont aujourd'hui très variées et discutées ; chaque entraîneur a sa propre méthode et pense détenir la formule magique. Les méthodes sont nombreuses et pourtant, le monde de la course à pied se rejoint sur les facteurs déterminants de la performance en endurance.

² Hottenrott, Kuno & Neumann, Georg. *Methodik des Ausdauertrainings*. Hofmann-Verlag, Schorndorf, 2008, p. 107-109.

3. Approche théorique

3.1.1 Facteurs physiologiques, énergétiques :

Les performances de l'athlète d'endurance sont fortement influencées par ses caractéristiques physiologiques. La physiologie de l'effort est une vieille discipline. Une étude (Hill et al. 1924) datant du premier quart du siècle passé exposait l'un des principes clés de ce domaine : « L'acide lactique ne s'accumule pas tant que la fourniture en oxygène est adéquate ». Ensuite, nos connaissances en physiologie de l'effort se sont affinées et aujourd'hui, on distingue de nombreux facteurs physiologiques déterminants pour la performance en endurance. Michel Dufour les résume très bien dans son ouvrage « La gazelle et l'athlète »³. Il fait notamment référence aux composantes ventilatoires, cardiovasculaires (débit cardiaque, transports O₂, densité capillaire) et énergétique (activité des enzymes aérobiques, stocks substrats, système navette, cinétique des filières).

Nous n'allons pas revenir sur toutes ces notions, qui sont pour la plupart abstraites et peu utiles aux entraîneurs de course à pied. Ces derniers préfèrent travailler avec des repères, des prédicteurs de performance, qui découlent directement des bases théoriques liées à la physiologie de l'effort. Ils s'appuient alors sur les notions suivantes:

→ VO₂ max : C'est la quantité maximale d'oxygène par unité de temps qu'un organisme est capable de prélever dans le milieu et d'utiliser. Dans le domaine de la physiologie de l'effort, la VO₂ max est reine. Selon certains spécialistes, cette dernière est le « meilleur prédicteur de performance pour des distances de 800m, 1500m et 5000m ».⁴

→ PMA : C'est la puissance maximale aérobie, donc la puissance que nous développons en faisant un exercice à notre VO₂ max (lorsque notre consommation d'O₂ est maximale). Concrètement, c'est la puissance maximale que l'on peut développer pendant 5 à 7 minutes. La PMA est généralement exprimée en watts.

→ VMA : C'est la vitesse maximale aérobie, donc la vitesse à la VO₂ max. Concrètement, c'est la vitesse maximale que l'on peut développer pendant 5 à 7 minutes. La VMA est généralement exprimée en km/h.

³ Dufour, Michel. *La gazelle et l'athlète*. Editions Volodalen, Chavéria, 2011, p. 85.

⁴ *Idem.*, p. 50.

3. Approche théorique

La corrélation entre VMA et VO2 max est plutôt bonne et des formules d'équivalence sont souvent utilisées dans le monde de l'athlétisme. Toutefois, deux coureurs de fond qui ont une VO2 max semblable n'ont pas forcément la même VMA. La VMA de l'athlète est également influencée par des facteurs biomécaniques (sa technique de course et sa qualité d'appuis – mise en tension / renvoi) ainsi que par ses capacités anaérobies et mentales (sa volonté, motivation).⁵

→ Endurance et indice d'endurance : L'endurance est la faculté, l'aptitude de l'athlète à maintenir le plus longtemps possible une puissance relative donnée ou alors à maintenir une puissance relative élevée pendant un laps de temps donné. En langage mathématique, l'endurance correspond à : « la pente de la relation entre l'intensité moyenne tenue en compétition et le logarithme naturel du temps de performance »⁶ On calcule l'indice d'endurance en comparant les performances en course sur plusieurs distances différentes ou encore en comparant la VMA du coureur et une performance en course. La performance chute plus ou moins rapidement entre la course la plus courte et la plus longue. En valeur absolue, un indice d'endurance élevé signifie pour l'athlète une aptitude médiocre à prolonger sa course, une fatigabilité élevée.

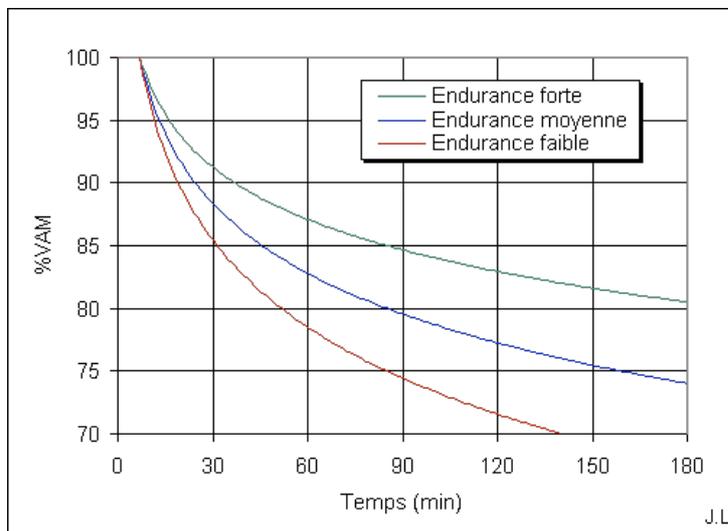


Fig. 1 : Evolution du pourcentage de la VMA selon 3 niveaux d'endurance ; Représentées avec une échelle de temps logarithmique, les courbes ci-dessus deviennent des droites et la pente de ces dernières détermine l'indice d'endurance de l'athlète.

⁵ *Idem.*, p.59.

⁶ Thibault, Guy. *Sports d'endurance. Entraînement et performance*. Editions Amphora, Paris, 2011, p. 22.

3. Approche théorique

3.1.2 Facteurs biomécaniques, musculaires :

Des coureurs ayant une VO₂ max semblable ne réalisent pas forcément les mêmes performances en course. C'est pour répondre à cette intrigue que scientifiques et entraîneurs se penchent dès la fin des années 1980 sur d'autres déterminants de performance, d'ordre biomécanique cette fois-ci. L'approche mécanique qui allie les notions de force, d'explosivité et de puissance musculaire prend alors place au côté de l'approche métabolique (oxygène, lactates et enzymes...)⁷

On s'intéresse alors de près à la foulée du coureur de fond et on cherche à comprendre les mécanismes d'une foulée efficace, d'une foulée économe en énergie. Le coût énergétique de la course à pied (Cr)⁸ est communément défini comme la relation entre la consommation d'oxygène (VO₂) et la vitesse de course (Dumke et al. 2010). Dès lors, une VO₂ basse à une vitesse de course donnée indique une bonne RE. Des facteurs physiologiques et biomécaniques se confondent et influencent le Cr du coureur à pied.

Au début des années 1970, l'athlète en endurance évite l'entraînement en force, par peur d'affaiblir ses capacités aérobies. Force et endurance sont alors considérées comme incompatibles. Selon MacDougall et al. (1979), l'entraînement en force provoque de l'hypertrophie, réduit l'efficacité des enzymes oxydatives et diminue la densité mitochondriale dans le muscle. Ces effets semblent donc être contraires à ce que recherche l'athlète en endurance. Puis, dès la fin des années 1980, plusieurs études sèment le doute dans les méthodes d'entraînement et démontrent des effets positifs d'un tel programme sur les performances en endurance d'athlètes peu entraînés (Hickson et al. 1988, Marcinik et al. 1991, McCarthy et al. 1995). A la fin des années 1990, deux études font office de références et constatent une amélioration significative de la RE sur des athlètes confirmés, suite à un entraînement combiné en force et en endurance.

Johnston et al. (1997) ont travaillé sur 12 femmes adeptes de course de longue distance. Suite à un entraînement de 10 semaines, le groupe expérimental, qui avait en plus de son entraînement traditionnel en endurance, 3 séances de force par semaine, a amélioré

⁷ Dufour, Michel. *La gazelle et l'athlète*, p. 128.

⁸ « Cost of running » en anglais. Le terme « running economy » (RE) est également utilisé dans différentes études.

3. Approche théorique

sa Cr de manière significative, sans influencer sa VO₂max ou sa masse corporelle. Les résultats de l'étude de Paavolainen et al. (1999) sont cinglants : des séances de force – explosive (pliométrie) couplées à un entraînement en performance améliorent le temps sur 5 km d'un athlète confirmé en endurance. Dans les années 2000, plusieurs études viennent confirmer les résultats enregistrés par ces deux études et démontrent toutes une influence positive sur la Cr (Millet et al. 2002, Spurrs et al. 2003, Turner et al. 2003, Saunders et al. 2006, Støren et al. 2008).

3.1.3 Autres déterminants de performance

De nombreux autres facteurs jouent un rôle dans la performance en endurance. Des composantes mentales⁹ (motivation, endurance mentale, seuil de souffrance, capacité à se dépasser), des composantes liées à l'alimentation et l'hygiène de vie ainsi que certains facteurs socioculturels doivent figurer parmi les facteurs de performance en endurance. Dans un souci de promptitude, nous n'allons pas nous étaler sur ces thèmes, qui ont tous le poids d'un travail de Master.

3.2 Focus sur les facteurs biomécaniques de la performance en endurance

3.2.1 Approche de la foulée en course à pied

Avant tout, revenons sur quelques principes biomécaniques importants de la foulée en course à pied.

⁹ Dufour, Michel. *La gazelle et l'athlète*, p. 42-44.

3. Approche théorique

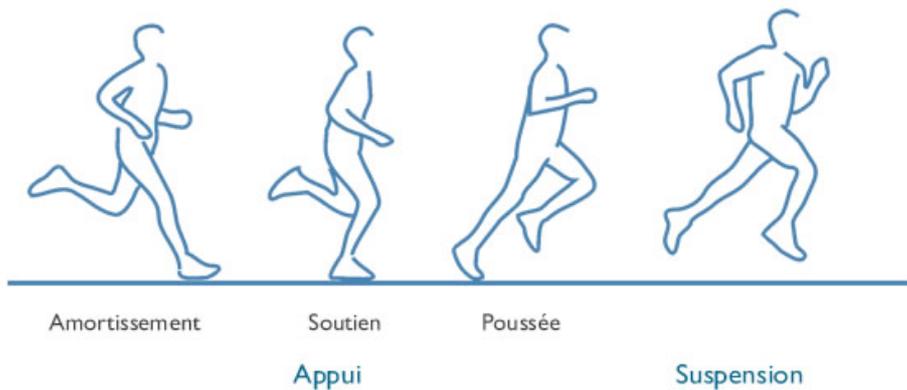


Fig. 2 : Les différentes phases de la foulée en course à pied

La foulée est le bond compris entre deux contacts successifs au sol et est habituellement divisée en deux moments distincts, la phase d'appui et la phase de suspension. La course se distingue de la marche dans sa phase de suspension, durant laquelle il n'y a plus de point d'appui avec le sol. En général, la course se distingue du sprint dans sa phase d'amortissement. Le sprinteur a un premier contact au sol avec la pointe de son pied d'appui et ne pose à aucun moment son talon lors de la phase d'appui. Les coureurs de moyenne ou de longue distance amortissent le contact avec le talon ou la plante du pied. Plus la vitesse de course augmente, plus la phase d'appui tend à raccourcir, comme le montre clairement le graphique de Novacheck (1997) ci-dessous.

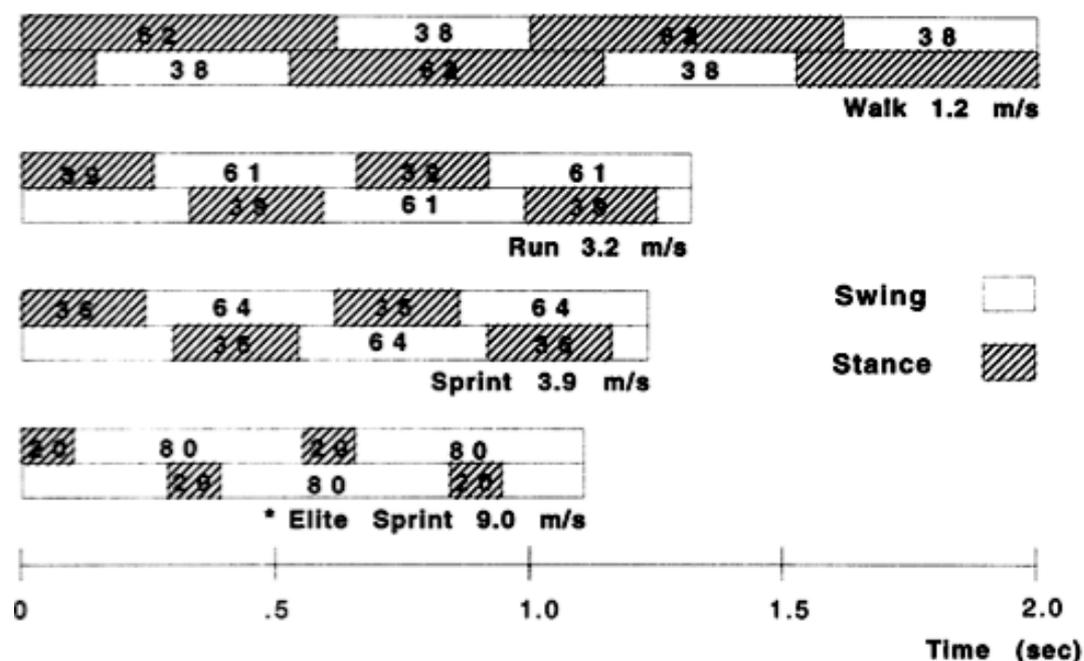


Fig. 3 : Variation des paramètres de la foulée selon différentes vitesses de course

3. Approche théorique

- Phase d'appui

La phase d'appui peut-être décortiquée en 3 étapes distinctes et dure en général de 20 à 40% du temps total d'une foulée. La première commence lorsque le pied rentre en contact avec le sol et on la nomme en général « l'amortissement » ou alors phase de « freinage ». « L'appui » intervient lorsque le centre de gravité du coureur se retrouve à l'aplomb de l'appui au sol. Finalement, la « poussée » ou « propulsion » est le moment où la composante des forces exercées par le coureur sur le sol est dirigée dans le sens de la course, ce qui le propulse vers l'avant.

- Phase de suspension ou phase oscillante¹⁰

Cette phase commence au moment où le pied d'appui quitte le sol et se termine lors du prochain contact au sol. Sa durée est comprise entre 60% et 80% du temps total de la foulée. Le centre de gravité du coureur décrit alors une trajectoire qu'il ne peut plus modifier. Cette dernière dépend de la vitesse initiale de l'athlète et de son angle d'envol. Selon le type de foulée du coureur à pied, la trajectoire de son pied lors de la phase de suspension peut être très différente. La « poulaine » représente le trajet suivi par le pied tout au long de la foulée. Ci-dessous, vous trouverez deux dessins de poulaine, représentant deux types de foulées distinctes.

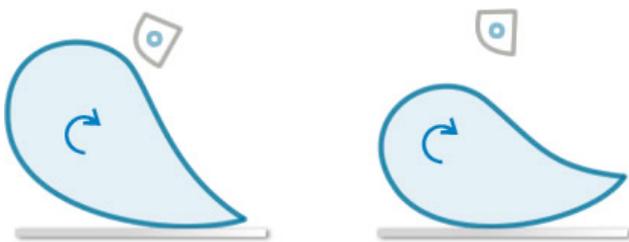


Fig. 4 : La première poulaine concerne un coureur en cycle arrière, la deuxième représente un coureur en cycle avant.

Selon les experts Volodalen, les coureurs en cycle avant ou « forefoot striker »¹¹ ont une foulée plus efficace que leurs homologues en cycle arrière ou « rearfoot stricker »¹². Et

¹⁰ Grimshaw, Paul & Burden Adrian. *Biomécanique du sport et de l'exercice. Traduction de l'anglais par Simon Pradel*. Editions De Boeck Université, Paris, 2010, p. 298.

¹¹ Novacheck, T. F. (1998). The biomechanics of running. *Gait posture*, p. 78.

¹² *Idem.*, p. 78.

3. Approche théorique

pourtant, on considère qu'environ 80% des coureurs ont une foulée en cycle arrière.¹³

Voici les principales différences entre les deux types de foulée :

Lors de la prise de contact au sol :

- Nous constatons un mouvement d'arrière en avant, de haut en bas pour le coureur en cycle arrière. Le coureur en cycle avant se rapproche lui d'un mouvement de griffé, d'avant vers l'arrière.
- La position du bassin est différente : en antéversion pour le cycle arrière (haut du bassin bascule vers l'avant), haut placé et droit pour le cycle avant.
- Le membre inférieur est tendu pour cycle avant et fléchi pour le cycle arrière.

Durant la phase d'appui :

- Le membre inférieur est fléchi pour le cycle arrière, le coureur a tendance à s'affaisser sur son appui. Le membre inférieur est très légèrement fléchi pour le cycle avant, le coureur résiste à la déformation.
- Le mouvement d'antéversion du bassin est accentué pour le coureur en cycle arrière.

Lors de la poussée :

- La poussée est moins nette pour le coureur en cycle avant. Sa jambe peut ne pas être totalement dans le prolongement de sa cuisse, le membre libre est lui prêt à engager le mouvement de retour au sol. La poussée est totale pour le cycle arrière, sa jambe libre n'a pas encore atteint son niveau le plus haut.

Ces petites différences ont toutes une certaine influence sur le coût énergétique de la foulée. Des ajustements posturaux ou un travail spécifique de renforcement peut permettre au coureur d'améliorer l'efficacité de sa foulée et donc ses performances en course d'endurance. C'est dans ce sens qu'est conçu le programme d'entraînement proposé par « Myotest Run », qui est au centre de mon étude.

¹³ Grimshaw, Paul & Burden Adrian. *Biomécanique du sport et de l'exercice*, p. 303.

3. Approche théorique

3.2.2 Activité musculaire principale dans la course à pied

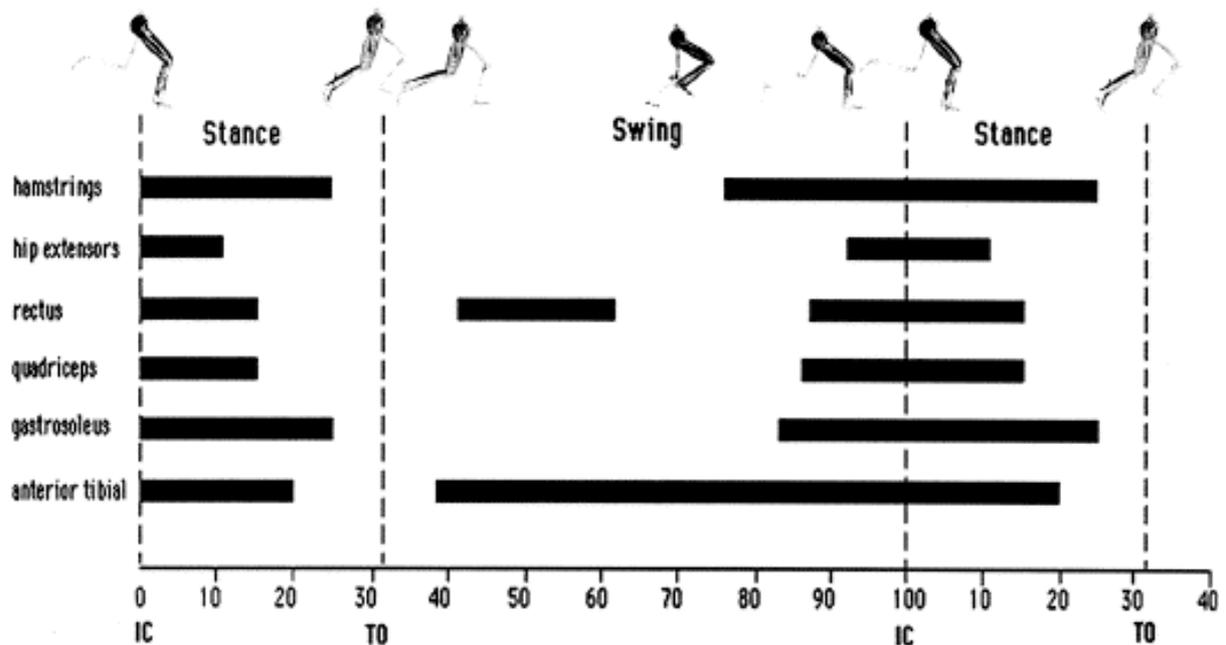


Fig. 5 : Activité musculaire des principaux groupes musculaires lors de la course à pied

Il ressort du schéma de Novacheck que les principaux muscles utilisés lors de la course à pied sont tous actifs à la fin de la phase de suspension. Certaines études parlent de phase de pré-activation ou d'anticipation (Novacheck 1998). Il s'agit ici de préparer le membre inférieur à l'impact au sol et aux forces de réaction de ce dernier. Une certaine raideur musculaire est alors nécessaire afin de ne pas s'affaisser sur ses appuis et d'utiliser au mieux l'énergie élastique présente lors de la mise en tension de nos muscles et tendons. Nous reviendrons sur cette notion de raideur musculaire de manière plus approfondie par la suite.

Puis intervient le moment du contact au sol et le début de la phase d'appui. Selon une récente étude de Hamner et al. 2010, le groupe musculaire du quadriceps serait, durant la phase d'amortissement, le principal contributeur au freinage et au support du centre de gravité du coureur durant la première partie de la phase d'appui. Ensuite, les muscles soleus et gastrocnemius seraient à la base de la flexion plantaire du pied et auraient donc une importance considérable dans le soutien et la propulsion du centre de gravité durant la deuxième partie de la phase d'appui.

Bien évidemment, ces deux groupes musculaires ne sont pas les seuls à travailler lors de la phase d'appui, mais il semblerait que ce soient les plus importants. D'autres muscles

3. Approche théorique

du membre inférieur, des muscles stabilisateurs du bassin et du tronc et même la musculature des bras jouent un rôle dans la course à pied. Détailler le rôle exact de ces derniers ne paraît pas nécessaire dans cette étude.

3.2.3 Stockage et restitution d'énergie

La course à pied nécessite une production d'énergie par l'athlète afin de se propulser vers l'avant. Cette énergie qu'il produit est le fait de transformation chimique au sein de ses muscles, c'est une énergie payante puisqu'il doit puiser dans ses réserves.

Une partie de cette énergie transformée en mouvement lors de la phase de poussée peut toutefois être récupérée plus tard lors de la phase d'amortissement. En effet, l'énergie cinétique et potentielle diminuent lors de la phase de freinage et les structures élastiques de notre corps, mises sous tension, sont capables d'emmagasiner une partie de cette énergie sous forme « d'énergie potentielle élastique »¹⁴. L'énergie stockée sera par la suite restituée lors de la phase de poussée vers l'avant. Cette capacité à restituer l'énergie cinétique est fortement déterminée par notre raideur¹⁵ musculaire. En effet, si au moment de l'impact notre corps se déforme, nos membres inférieurs se plient sous la pression et l'énergie transmise au corps se dissipe. La capacité de notre corps et, en particulier, de nos membres inférieurs à résister à la déformabilité est une caractéristique essentielle pour une foulée dite économe en énergie. Imaginons ces propos avec un ballon de basket. Le premier, bien gonflé et lâché d'une certaine hauteur, rebondira assez haut grâce à ses propriétés élastiques. Le deuxième, dégonflé et lâché de la même hauteur, rebondira beaucoup moins haut, étant donné sa moins grande résistance à la déformabilité.

Cette « énergie potentielle élastique », qui permet entre autre d'économiser l'énergie métabolique consommée par la contraction musculaire, joue un rôle essentiel dans la détermination du coût énergétique de la foulée du coureur.

¹⁴ Grimshaw, Paul & Burden Adrian. *Biomécanique du sport et de l'exercice*, p. 304.

¹⁵ Le terme scientifique d'origine anglaise est « stiffness ». Ce terme peut être traduit par « raideur musculaire » en français et se définit par la résistance à la déformation d'un corps au contact du sol.

3. Approche théorique

3.3 Coût énergétique de la course à pied

Une foulée efficace signifie une foulée peu coûteuse en énergie métabolique. La foulée idéale, économique, est-elle propre à chacun comme certains chercheurs le présument (Cavanagh et al. 1982) ou alors existe-t-il une manière de courir qui serait la plus économique, qui nous demanderait le moins d'énergie ? Les débats sont ouverts. Afin de nous faire une idée plus précise sur la question, nous allons désormais nous concentrer sur une notion importante et inévitable dans le monde de la course à pied, le coût énergétique de la foulée (Cr).

Dans les années 1980 et 1990, le monde de la course à pied est secoué par de nombreuses études signalant l'importance du Cr sur les moyennes et longues distances (Conley et al. 1984, Cavanagh et al. 1985 a & b).

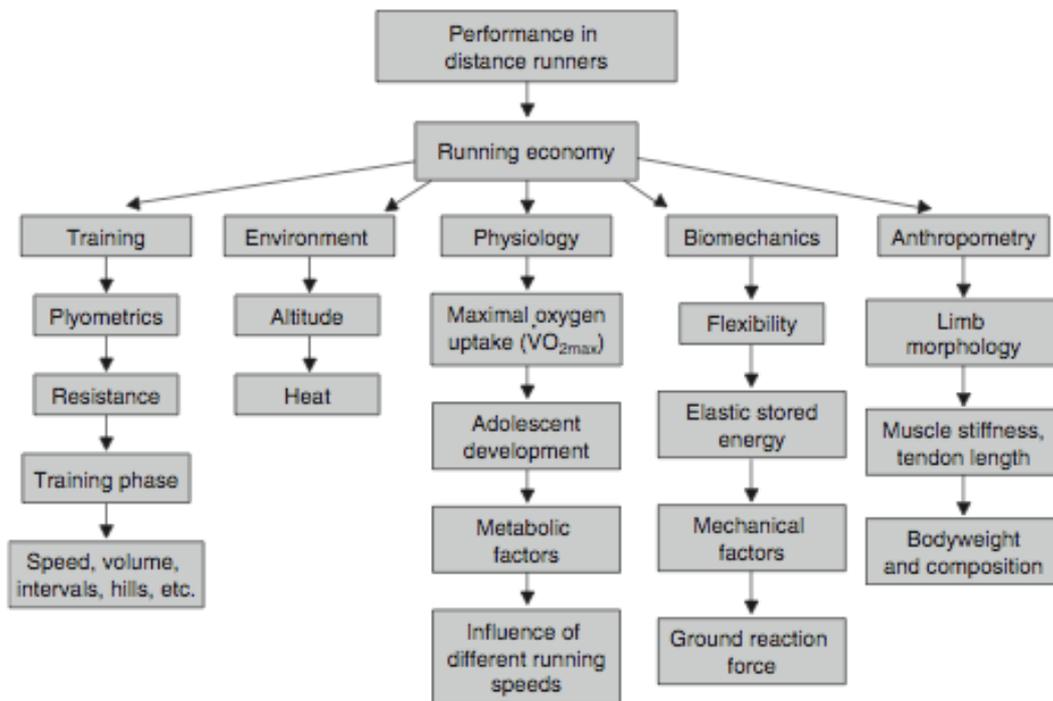
Di Prampero et al. (1986) calculent le coût énergétique (Cr) de la locomotion comme suit : $Cr = P_{met} / v$ (Cr : coût énergétique en J/kg/m, P_{met} : puissance métabolique ou fraction de VO_2max , v : vitesse de déplacement). Ce coût énergétique représente donc une dépense d'unité métabolique par unité de distance parcourue.

Cette équation suppose donc la possibilité d'améliorer nos performances en endurance en agissant sur le facteur du coût énergétique de notre gestuelle. Il serait dès lors possible d'améliorer nos performances en endurance sans passer par nos caractéristiques physiologiques et notre $VO_2 max$, mais en agissant sur des facteurs biomécaniques avec, comme objectif, une diminution du coût énergétique de notre foulée.

3. Approche théorique

3.3.1 Facteurs qui influencent le Cr

Tab. 1 : Facteurs qui influencent la "running economy" ou "cost of running" du coureur à pied.



Le tableau 1 représente et organise les différents facteurs qui auraient une influence sur la Cr du coureur à pied. Dans ce travail, nous allons nous concentrer sur les aspects physiologiques et biomécaniques.

3.3.1.1 Facteurs physiologiques

Selon une étude menée par Thomas et al en 1995, le coureur de fond qui souhaite améliorer son Cr devrait en priorité se concentrer sur l'amélioration de ses caractéristiques physiologiques comme son rythme cardiaque, sa ventilation, sa lactatémie ou la régulation de sa température corporelle. Une amélioration de ces facteurs physiologiques provoquerait une baisse de consommation énergétique et donc une meilleure Cr. Dans cette étude, les chercheurs ont démontré que la détérioration du Cr observée durant une course de 5 km était due à des facteurs physiologiques (efficacité de la métabolisation de l'O₂) et non à des facteurs mécaniques, puisque la mécanique de course est restée inchangée tout au long de la course.

3. Approche théorique

Saunders et al. (2004) ont collecté et analysé la littérature concernant l'impact des facteurs physiologiques et biomécaniques sur le Cr. Ils concluent que la détérioration de la Cr, suite à des exercices induisant une certaine fatigue, est principalement due à des facteurs physiologiques plutôt qu'à des facteurs biomécaniques.

L'entraînement à haute intensité (Paton, C. D. & Hopkins, W. G. 2004) est alors préconisé. Il permet au coureur d'améliorer ses caractéristiques physiologiques et ainsi d'augmenter sa VO₂max et son Cr.

3.3.1.2 Facteurs biomécaniques

Saunders et al. (2004) regroupent les facteurs biomécaniques susceptibles d'influencer le Cr du coureur à pied comme suit :

- *Anthropométrie*

Les caractéristiques anthropométriques du coureur ne sont pas à négliger. N'est pas champion de marathon qui veut, aussi bien que tout le monde ne peut pas être Usain Bolt. Certaines caractéristiques comme le taux de graisse corporelle ou le « body mass index » peuvent être améliorées au travers de diverses méthodes. D'autres en revanche ne peuvent pas changer, par exemple la grandeur de l'athlète, la morphologie de ses jambes ou la grandeur de ses pieds.

Certaines personnes ou certains groupes de personnes (prenons, pour exemple, les coureurs des hauts plateaux de l'Atlas en Afrique) ont, de naissance, des prédispositions anthropométriques pour la course à pied de longue distance.

- *Cinématique et cinétique*

La foulée idéale, économique et efficiente, est l'objectif de recherche de plusieurs études depuis les années 1970. D'après Cavanagh et al. (1982), la foulée idéale serait propre à chacun. Chaque coureur a ses propres caractéristiques. Avec l'entraînement et les adaptations physiologiques qui en découlent, le coureur adopte naturellement une cinématique de course optimale selon sa vitesse, ses capacités physiques et sa forme du moment.

3. Approche théorique

On distingue tout de même certaines différences entre le coureur d'élite et le coureur populaire. De manière générale, Cavanagh et al (1977) constatent moins d'oscillations verticales et plus de symétrie dans la foulée du coureur d'élite, ce qui aurait une influence positive sur la Cr de l'athlète. D'autres études constatent une jambe d'appui plus tendue à la pose du pied, une force verticale moindre, une plus grande vitesse de flexion plantaire du pied, une plus grande vitesse au contact du sol et moins de mouvements de bras pour les coureurs d'élites. (Williams & Cavanagh 1987, Anderson et al. 1994).

En 2003, l'étude de Kyrolainen et al. a pour objectif d'étudier l'impact de différents facteurs biomécaniques sur notre Cr. Le groupe de chercheurs compare des variables comme la VO₂ à différentes vitesses, la cinématique de course, les forces de réaction au sol, l'activité musculaire des membres inférieurs ainsi que les mouvements des articulations et leur puissance. Ils constatent que certains facteurs biomécaniques comme la vitesse angulaire des articulations ou les déplacements angulaires entre les articulations de la cheville, du genou ou des hanches ne sont pas de bons prédicteurs de performance, puisque peu corrélés à la VO₂ du coureur. En revanche, ils relèvent une importance particulière pour la force produite lors du contact au sol, l'activité musculaire des muscles extenseurs de la jambe et des ischio-jambiers lors de la phase de pré-activation et d'amortissement. Ils en concluent que la co-activation des muscles autour du genou augmente la « stiffness »¹⁶ de l'articulation, ce qui améliore le Cr du coureur.

Le groupe de recherches, dirigé par Kyrolainen, reprend les conclusions de l'étude d'Anderson et al. (1996) et insiste sur l'importance de l'utilisation de « l'énergie potentielle élastique » par les muscles et les tendons. L'énergie cinétique est emmagasinée lors de la contraction excentrique durant la phase de pré-activation et d'amortissement puis est libérée lors de la contraction concentrique durant la phase de propulsion. La phase de pré-activation permettrait notamment d'augmenter la sensibilité des récepteurs neuromusculaires et ainsi d'augmenter la potentialisation du réflexe d'étirement. La succession de ces actions excentriques et concentriques est communément appelée « cycle d'étirement-détente » ou « stretch-shortening cycle » (SSC) en anglais. Le SSC est influencé par la raideur musculaire du coureur et le réflexe

¹⁶ Traduction française : « raideur musculaire ».

3. Approche théorique

d'étirement qui fait suite à l'impact au sol. Le Cr du coureur à pied est en partie déterminé par l'efficacité du SSC de ce dernier.

- *Forces de réaction du sol*

Heise et Martin (2001) ont travaillé sur la relation entre les forces de réactions du sol et la Cr du coureur. Leurs recherches les incitent à croire que pour les coureurs à pied de niveau et de forme équivalents, ces forces de réactions du sol peuvent expliquer en partie leur variation de Cr. Les coureurs les moins économiques ont une impulsion verticale plus forte, ce qui indique une dépense d'énergie inutile dans des déplacements verticaux. La corrélation entre l'impulsion verticale nette et la Cr était toutefois assez faible. La conclusion de cette étude est que la force verticale de réaction au sol est le déterminant majeur du coût métabolique de la course à pied.

D'autres études (comme celle de Chang et al. 1999), relativisent l'importance de cette force verticale de réaction au sol et attachent plus d'importance aux forces horizontales appliquées aux coureurs. Retenons simplement que les forces de réaction du sol, qu'elles soient verticales ou horizontales, jouent toutes deux un rôle plus ou moins important dans le Cr du coureur.

3.3.2 Méthodes pour améliorer le Cr de la foulée

Les recherches sur les différentes méthodes pour améliorer le Cr du coureur à pied sont peu nombreuses, relativement récentes et encore beaucoup discutées aujourd'hui. Dans la littérature scientifique, une distinction est faite entre les sujets peu ou moyennement entraînés en course à pied et les sujets bien entraînés. Suite à un entraînement classique en endurance, qu'il soit couplé ou non avec d'autres méthodes (exercices de force par exemple), les sujets peu entraînés ou moyennement entraînés améliorent de manière significative et rapide leur Cr. En général, on considère que ces progrès sont principalement dus à une amélioration générale de la condition physique du sujet, une adaptation naturelle de l'entraînement en endurance.

En revanche, pour les athlètes déjà bien entraînés et qui possèdent un bon Cr, des améliorations significatives de leur Cr sont plus difficiles à obtenir et nécessitent plus de temps. La littérature scientifique considère trois méthodes qui, combinées à un

3. Approche théorique

programme en endurance, améliorent de manière significative le Cr d'athlètes confirmés dans la course de fond.

3.3.2.1 *Entraînement en force*

Dès le début des années 1990, l'idée que des séances de force durant une préparation en endurance puisse améliorer les performances du coureur de moyenne et de longue distance est largement débattue dans les milieux scientifiques et sportifs. Plusieurs études tentent de démontrer les bienfaits de cette méthode d'entraînement. L'analyse de ces études nous permet de distinguer deux types de séances de force qui seraient utiles à la préparation de l'athlète d'endurance.

- « *Heavy weight training* » (HWT)

En 2002 paraît une étude menée par un chercheur français, P. Millet, et qui a pour objectif d'analyser les effets d'un entraînement en endurance combiné avec des exercices de force sur le Cr du coureur à pied et sur sa cinétique de course (cinétique de la VO₂). 15 triathlètes déjà bien entraînés sont divisés en deux groupes. Durant 14 semaines, le groupe expérimental ajoute à son programme de préparation hebdomadaire en endurance 2 séances de HWT. En comparant différents tests entre les deux groupes, les scientifiques constatent pour le groupe expérimental, une augmentation significative de la force maximale et une amélioration de son Cr, sans grand changement au niveau de la cinétique de VO₂. P. Millet tente par la suite de comprendre les mécanismes physiologiques ou biomécaniques qui seraient à la base de cette amélioration du Cr et donc des performances en endurance du groupe expérimental. Une optimisation de la régulation de la raideur musculaire (stiffness) de la jambe d'appui permettrait une meilleure efficacité dans l'utilisation de l'énergie élastique stockée puis restituée lors de la phase d'appui. Une seconde hypothèse, avancée par ce petit groupe de scientifiques français, serait l'augmentation de la puissance musculaire des jambes des triathlètes, résultant de l'amélioration de facteurs neuromusculaires¹⁷ principalement.

¹⁷ Wilmore, Jack H. & Costill, David L. *Physiologie du sport et de l'exercice. Adaptations physiologiques à l'exercice physique*. Traduction de la 2^{ème} édition. Editions De Boeck Université, Paris, 2002, p. 88-89.

3. Approche théorique

Deux autres études viennent confirmer par la suite les résultats obtenus par le groupe de P. Millet. Les conclusions de l'étude de Hoff et al. (2002) sont à peu près les mêmes. Après 8 semaines d'entraînement avec ajout de 3 séances de HWT par semaine, les skieurs du groupe expérimental ont vu leurs performances en force, en puissance musculaire et en économie de travail s'améliorer significativement. Les adaptations neuromusculaires découlant de l'entraînement en force (HWT) seraient la raison principale du gain en puissance musculaire et de l'amélioration de l'économie de travail du skieur.

En 2008, les mêmes méthodes sont reprises dans une étude menée par O. Støren. En plus de leur entraînement traditionnel en endurance, le groupe expérimental, formé de 8 coureurs bien entraînés en endurance, se plie, 3 fois par semaine, à 4 séries de 4 répétitions (force max.) de half-squats. Les résultats sont très clairs. Ces 8 coureurs ont amélioré de manière significative leur puissance et leur force maximale. Ils ont également progressé dans leur Cr et dans le « temps avant l'épuisement » à leur allure de VMA. Toutes ces améliorations se sont faites sans changement de leur VO₂max et de leur masse corporelle. Ils expliquent cette progression en partie grâce à des adaptations neuromusculaires qui font suite à l'entraînement. L'hypothèse d'une optimisation de leur raideur musculaire, due à une meilleure utilisation de l'énergie élastique, est également avancée, mais n'est pas prouvée dans leur étude. Enfin, ils mentionnent également une amélioration de la puissance musculaire, qui permettrait une contraction plus courte, et donc un accès prolongé à l'O₂ pour le muscle.

- *Entraînement en pliométrie*

On parle d'un exercice pliométrique lorsque le muscle cible mis sous tension est tout d'abord allongé (phase excentrique) puis se contracte en se raccourcissant (phase concentrique). Ce genre d'exercice repose sur le phénomène appelé communément « stretch shorten cycle » (SSC) ou « cycle d'étirement – raccourcissement » en français. Les composantes élastiques musculo-tendineuses emmagasinent de l'énergie lors de l'étirement du muscle puis sont capables de la restituer en partie lors de la contraction. Le réflexe d'étirement joue également un rôle lors du SSC. Les exercices pliométriques sont brefs et intenses et regroupent toutes les formes de bonds, de sauts et de sprints.

3. Approche théorique

Plusieurs études ont établi qu'un travail de force et d'explosivité, particulièrement en pliométrie, serait bénéfique aux coureurs de fond. Selon Paavolainen et al. (1999), une augmentation de la puissance musculaire conduirait à une diminution de la force relative nécessaire pour une amplitude de foulée donnée. En ajoutant des séances de pliométrie à un entraînement traditionnel en endurance pour un groupe de coureurs d'élite « cross country », il constate une amélioration du coût Cr des coureurs sans modification des paramètres cardiorespiratoires. Ceci s'expliquerait essentiellement par une amélioration significative de nos caractéristiques neuromusculaires. Une meilleure efficacité de nos unités motrices (motoneurons et fibres musculaires) augmenterait notre raideur musculaire et l'explosivité de certains muscles locomoteurs, qui permettrait, entre autre, de diminuer le temps de contact au sol, un des facteurs affectant notre économie de course selon Nummela et al. (2007).

Spurrs et al. (2003) ont mené une étude qui consistait à relever les effets d'un entraînement pliométrique de 6 semaines sur la performance en course de 3 km de coureurs expérimentés. Ces derniers relèvent l'importance du SSC dans le processus de mise en tension – renvoi de nos structures musculo-tendineuses lors de la phase d'appui. Le résultat de cette étude démontre une amélioration significative des performances en endurance des athlètes ayant eu des exercices pliométriques additionnels durant les 6 semaines d'entraînement. Selon cette étude, l'entraînement pliométrique améliore l'efficacité du SSC en augmentant notamment la raideur musculaire de la jambe d'appui. La perte d'énergie lors de la phase d'amortissement est diminuée et le processus de mise en tension et de renvoi de notre foulée se voit donc optimisé.

En 2003, Turner et al. se sont également intéressés aux effets d'un entraînement en endurance combiné avec des exercices pliométriques, 3 fois par semaine durant 6 semaines. Le groupe de recherche a choisi des sujets moyennement entraînés en endurance pour leur étude. Leurs résultats vont dans le même sens que ceux de Spurrs et al. (2003), à savoir que le groupe expérimental améliore de manière significative leur Cr. Mais ils n'ont pas relevé de changement majeur dans l'habileté des structures musculo-tendineuses à utiliser l'énergie élastique. Ils préfèrent ne pas s'avancer sur les raisons de cette amélioration de la Cr de ces coureurs et demandent des études complémentaires.

3. Approche théorique

L'étude de Saunders et al. (2006) s'approche des conclusions et des hypothèses émises par Spurrs et al en (2003). Les chercheurs remarquent une amélioration du Cr, sans influence sur la VO₂max, des coureurs du groupe expérimental, astreints 3 fois par semaine à 30 minutes d'exercices pliométriques, et ceci pendant 9 semaines. L'ajout de séances de force en pliométrie pour des coureurs de fond bien entraînés permet aux muscles d'utiliser plus efficacement l'énergie élastique et de réduire la quantité d'énergie perdue lors de la phase d'amortissement, de décélération. Des adaptations musculaires et mécaniques seraient alors à la base de l'amélioration du Cr du coureur à pied.

Guglielmo et al. (2009) se sont penchés sur ces deux méthodes d'entraînement en force, le HWT et la pliométrie, afin de déterminer laquelle, combinée avec une préparation en endurance, est la plus efficace pour améliorer le Cr de coureurs de fond. Après 4 semaines d'entraînement, les deux groupes ont progressé dans leur Cr. Toutefois, il semblerait que sur une courte période d'entraînement, l'entraînement en HWT serait plus efficace que la pliométrie pour améliorer le Cr des coureurs déjà bien entraînés. Cette étude est la seule du genre à avoir comparé l'impact de deux méthodes d'entraînement en force sur nos performances en endurance. La courte période d'entraînement et le peu de sujets (8 par groupe) ne nous permettent néanmoins pas d'avoir des certitudes. Des études de plus grande envergure sont nécessaires.

3.3.2.2 *Entraînement à haute intensité*

Paton et al. (2004) ont passé en revue 22 études relatives aux effets d'un entraînement de haute intensité, principalement sous forme d'intervalles, sur les performances en endurance d'athlètes confirmés en endurance. Ils choisissent de différencier l'entraînement par intervalles submaximaux (plus de 10 minutes), maximaux (entre 2 et 10 minutes) et supramaximaux (moins de 2 minutes). Paton et al. constatent des améliorations significatives dans les performances en endurance suite à des entraînements avec intervalles maximaux et supramaximaux. D'un point de vue physiologique, la VO₂ max, le seuil anaérobie et le Cr de l'athlète se sont tous améliorés avec un entraînement en intervalles, plus particulièrement avec des intervalles maximaux (de 2 à 10 minutes), à une intensité proche de la VO₂max.

3. Approche théorique

Les bénéfices de ce type d'entraînement sur les performances en endurance d'athlètes chevronnés sont supérieurs à ceux d'un programme d'endurance couplé avec des exercices de résistance. Les adaptations physiologiques portent sur la VO₂max, le seuil anaérobie et le Cr, alors qu'un entraînement en endurance et en résistance n'agirait lui que sur le Cr du coureur à pied.

Finalement, Paton et al. proposent aux athlètes qui ont une pauvre VO₂max d'ajouter ou d'augmenter les séances d'intervalles maximales et pour les athlètes ayant une pauvre Cr, d'ajouter ou d'augmenter les séances de force explosive spécifique à leur sport.

3.3.2.3 *Entraînement en altitude*

Saunders et al. (2004) s'intéressent également à une autre méthode qui permettrait d'améliorer le Cr des coureurs de fond. Il s'agit de l'entraînement en altitude. Comme cette méthode n'est pas directement liée au sujet de mon étude, je ne vais m'étendre sur le sujet. En quelques mots, l'entraînement en altitude augmenterait l'efficacité métabolique des muscles par différents mécanismes et faciliterait donc l'utilisation de l'O₂ par le muscle.

3.4 **Myotest SA**

Patrick Flaction crée la société Myotest SA à Sion en 2004. Son objectif est de répondre à un besoin qui grandit dans les milieux du sport et de la santé : celui de pouvoir évaluer le mouvement du sportif directement sur le terrain, en condition réelle d'entraînement. La société suisse propose aujourd'hui trois domaines d'application au travers des marques Myotest PRO, Myotest CARE et Myotest TECH. Cette gamme de produit repose essentiellement sur un boîtier orange contenant un accéléromètre triaxial¹⁸, capable de mesurer de façon simple et rapide la performance musculaire.

¹⁸ Appareil qui mesure la variation de vitesse dans le temps. Il s'appuie sur la loi fondamentale de la dynamique : $F = m * a$ (F : force en N, m : masse en kg, a : accélération en m/s²)

3. Approche théorique

3.4.1 Myotest RUN



Fig. 6 : Le "Myotest Run"

Le Myotest Run est une version simplifiée du Myotest Pro, spécialement destinée aux coureurs à pied. La principale différence entre les deux produits est la présence, pour le PRO, d'un logiciel « d'analyse biomécanique »¹⁹ qui permet à l'athlète ou à son entraîneur d'analyser de manière précise les résultats de ses performances et de les illustrer à l'aide de graphiques et de tableaux. Ce logiciel et quelques autres options complémentaires élèvent le prix du Myotest Pro et le destinent spécialement vers le sport de haut niveau, la rééducation ou la recherche. Le Myotest Run est lui nettement moins onéreux et vise un public beaucoup plus large puisqu'il s'adresse aux coureurs de tout niveau.

L'appareil est fixé directement sur une ceinture au niveau des hanches du coureur, entre le grand trochanter et la crête iliaque. Il permet au coureur de mesurer simplement ses caractéristiques musculaires, d'analyser ses résultats et ainsi d'optimiser son entraînement. Selon la société valaisanne, le Myotest RUN permettrait au coureur de réduire significativement son temps d'entraînement nécessaire pour atteindre ses objectifs de performance.

Le programme d'entraînement développé par Myotest a pour principal objectif d'améliorer l'efficacité mécanique de la foulée. Les séances proposées par l'appareil reposent essentiellement sur des exercices de force explosive, particulièrement en pliométrie, ainsi que sur des séances à haute intensité (intervalles). Dans un chapitre précédent, nous avons pu constater l'efficacité de ces méthodes d'entraînement dans une préparation en endurance, notamment sur le Cr du coureur à pied.

Un groupe de chercheurs japonais s'est intéressé à l'efficacité d'un programme d'entraînement estampillé « Myotest Run » et publie en 2011 une étude (Hasegawa et al. 2011) dans le « Journal of Strength & Conditioning Research ». 20 sujets sont répartis en deux groupes et participent à un programme d'entraînement de 8 semaines. Le groupe contrôle (C) s'entraîne 2 à 3 fois par semaine en continu. Le groupe expérimental (E) s'entraîne, lui, suivant des séances proposées par le « Myotest Run ». Les résultats de

¹⁹ *Myotest Pro*. Consulté le 18 avril 2012. Disponible sur : http://www.myotest.com/2011_french/2011_pages_pro/index.html

3. Approche théorique

cette étude démontrent une amélioration similaire pour les deux groupes dans leurs performances en endurance et dans le coût énergétique de leur foulée (Cr), mais avec un volume d'entraînement diminué de 25% pour le groupe E. S'entraîner avec cet appareil constituerait donc un gain de temps par rapport à des méthodes « continues » exclusivement.

3.4.2 Fonctionnement de l'appareil

3.4.2.1 « Myocheck »²⁰

Le « Myocheck » établit en quelque sorte un bilan des propriétés musculaires actuelles de l'individu. L'appareil mesure l'accélération du centre de gravité de l'individu, sur un plan vertical, dans deux exercices standardisés. A travers quelques formules mathématiques, il évalue la performance musculaire du coureur dans cinq domaines clés intimement liés à la foulée du coureur à pied, à savoir la force, l'extension, la réactivité, la stiffness et la coordination. Les résultats sont calculés sous forme de pourcentage par rapport « aux résultats d'un panel des meilleurs coureurs à pied au sein de la Fédération Française d'Athlétisme »²¹. Voici les deux exercices présents dans le « Myocheck » :

- 5 Counter movement jumps (CMJ)

Les 5 CMJ sont effectués sur sol dur, les mains sur les hanches afin d'éviter une influence du facteur technique de la coordination. Deux facteurs de condition physique sont évalués après ces cinq sauts, il s'agit de la force et de l'extension.

- La **force** est définie comme la capacité à freiner puis pousser de manière courte et rapide. La force est le résultat de l'équation suivante : $F = m \cdot a$ (F : force en N, m : masse en kg, a : accélération en m/s^2). Il est donc important d'inscrire correctement le poids de l'individu dans les paramètres de l'appareil avant de procéder au Myocheck.

²⁰ « Myocheck » est le nom donné par la société Myotest aux deux exercices qui permettent d'établir le bilan des qualités musculaires de l'athlète.

²¹ *Quelles sont les valeurs mesurées par le Myotest Run ?* Consulté le 18 avril 2012. Disponible sur : http://www.myotest.com/index.php?option=com_content&view=article&id=59&Itemid=133&lang=fr

3. Approche théorique

- **L'extension** est calculée par la vitesse de poussée des fessiers, quadriceps et mollets. Cette qualité influence la poussée du coureur à pied et lui permet d'allonger ses foulées. L'appareil Myotest calcule l'accélération lors d'un saut CMJ. La vitesse est, elle, calculée à l'aide de l'équation suivante : $\Delta v = a \cdot \Delta t$ (v : vitesse en m/s, a : accélération en m/s^2).
- *Saut réactivité (pliométrie)*

20 sauts sont effectués sur un sol dur, les mains sur les hanches afin d'éviter une influence du facteur technique de la coordination. Le sujet cherche à sauter haut et à avoir un temps de contact au sol minimal. L'objectif de ce test est de mesurer les qualités contractiles des muscles des jambes (raideur ou stiffness), la réactivité et les qualités de coordination intermusculaires des membres inférieurs.

- La **réactivité** mesure les qualités de pied pour un contact optimal au sol. La réactivité est le résultat de l'équation suivante : $tps V / tps C$ ($tps V$: temps de vol en sec., $tps C$: temps de contact au sol en sec.). Un ratio $tps V / tps C$ élevé signifie une bonne réactivité pour le coureur à pied.

La courbe de la force ou celle de la puissance illustrées ci-dessous nous permettent de déterminer le temps de vol et le temps de contact au sol.

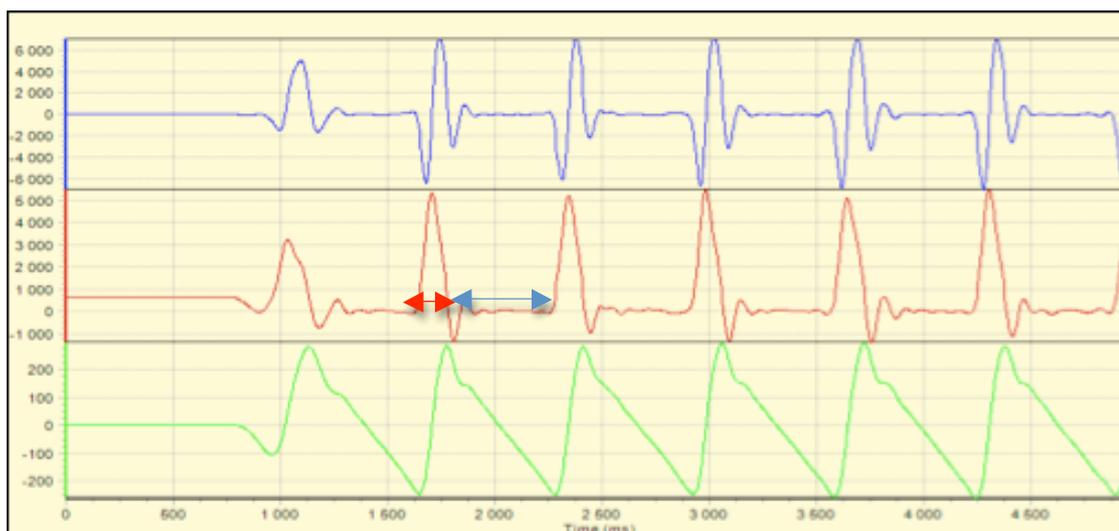


Fig. 7 : Evolution des courbes de la puissance (bleu), de la force (rouge) et de la vitesse (vert) lors de 5 sauts pliométriques ; La flèche rouge correspond au temps de contact au sol et la flèche bleue au temps de vol.

3. Approche théorique

- La **stiffness** se définit comme la capacité musculaire et tendineuse à résister à la déformation. Plus précisément, la stiffness (ou raideur musculaire) est définie par le rapport entre la contrainte imposée et la déformation obtenue, dont voici l'équation²² mathématique : $K_{vert} = F_{max} / \Delta\delta$ (K_{vert} : raideur musculaire en kN/m, F_{max} : force verticale maximale enregistré lors du contact au sol exprimé en N, $\Delta\delta$: déplacement vertical vers le bas du CG durant la phase de freinage exprimé en m). Plus le déplacement est élevé, plus la stiffness sera faible. Pour obtenir le déplacement du bassin durant la phase de freinage, il est nécessaire de faire l'intégrale de la vitesse.

La figure 8 isole la courbe de la force et de la vitesse sur 1 seul saut pliométrique et met en évidence quelques facteurs déterminants pour mesurer la stiffness, à savoir la force max, les différentes vitesses et le temps de freinage. Pour une même force subit, plus le temps de freinage est court, meilleure est la stiffness.

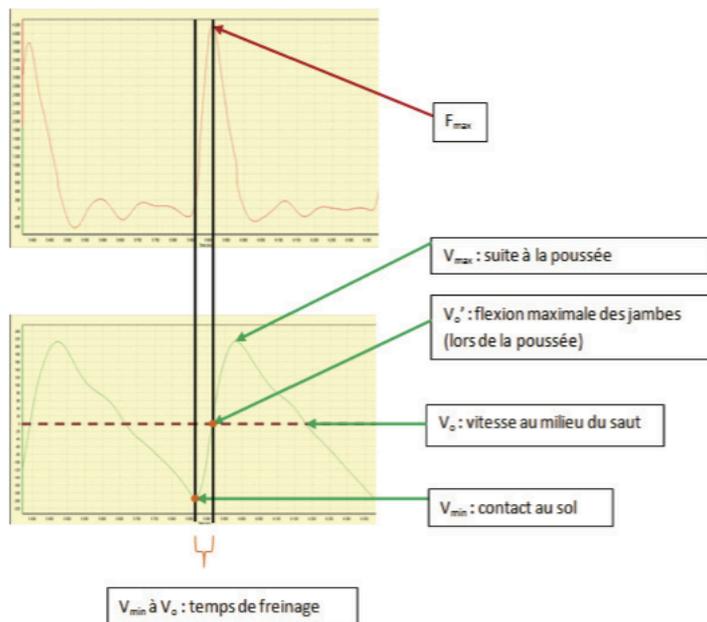


Fig. 8 : Courbes de la force et de la vitesse sur un saut pliométrique isolé

- La **coordination** représente la capacité de contrôle relatif des muscles pour un impact régulier. La société Myotest ne dévoile pas explicitement la manière dont elle mesure la coordination à travers ces deux tests de sauts. Deux hypothèses semblent être possible pour calculer une valeur de coordination. La première

²² Divert, Caroline. *Thèse de doctorat : Influence du chaussage sur les caractéristiques mécaniques et le coût énergétique de la course à pied*. Université de Saint-Etienne, 2005, p. 40.

3. Approche théorique

serait de calculer le temps que fait le sujet pour s'équilibrer entre deux CMJ (l'équilibre étant un facteur de coordination). La deuxième serait de comparer les caractéristiques des différents sauts en réactivité et de voir si les sauts sont semblables ou s'ils diffèrent passablement, ce qui indiquerait probablement des problèmes de coordination.

Ce rapide petit test permet ensuite au coureur de connaître son bilan musculaire, de percevoir les points faibles et les points forts de sa musculature en comparaison à un coureur de longue distance. Les qualités en force, extension, réactivité, stiffness et coordination sont données par l'appareil sous forme de pourcentage par rapport à une moyenne des meilleurs coureurs de la Fédération Française d'Athlétisme.

3.4.2.2 Préparation d'un programme d'entraînement

L'utilisateur prend une part active à la préparation de son plan d'entraînement. En tenant compte de la période de préparation dans laquelle il se situe, il a le choix entre trois types de séances d'entraînement : préparation physique générale (PPG)²³, développement²⁴ ou intervalles²⁵. C'est lui qui gère ses séances et qui programme l'entraînement sur plusieurs semaines. Ensuite, selon le choix de sa séance, l'appareil prend le relais et construit une séance adaptée aux besoins, à la condition physique actuelle du coureur. En se basant sur le dernier « Myocheck » effectué par l'utilisateur, il sélectionne, dans son répertoire de 18 exercices types, ceux qui vont pouvoir développer les points faibles du coureur, sans toutefois délaisser ses points forts. Puis, il le pilote durant la séance. En d'autres termes, il bip lorsqu'il faut commencer, arrêter ou changer d'exercices. A la fin de chaque exercice, un rapide feed-back apparaît alors sur l'écran et nous informe sur la qualité de la réalisation.

²³ Améliore principalement le gainage, la tonicité du corps.

²⁴ Développe les qualités de pied.

²⁵ Intègre les qualités de pied dans la course en intermittent.

3. Approche théorique

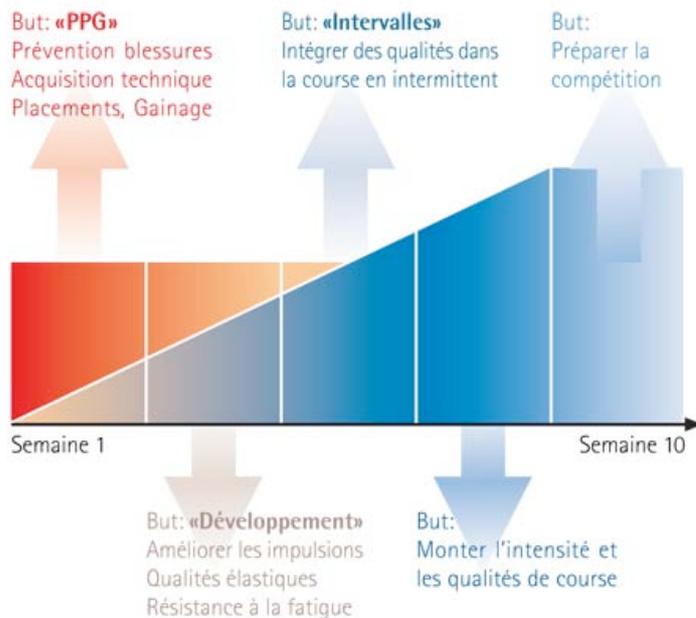


Fig. 9 : Concept du programme d'entraînement "Myotest Run"

- Séance « PPG »

L'objectif de cette séance est de préparer le corps à la course à pied. Tout d'abord, l'appareil propose au coureur un échauffement sous forme de jogging pendant 20'. Ensuite, des exercices de renforcement du tronc, de gainage et de force pour les membres inférieurs sont exécutés sous forme de circuit training : 2 séries de 6 exercices avec un intervalle de pause active (1' de léger jogging). Une barre de squat est nécessaire pour certains exercices de force visant les membres inférieurs.

Les circuits training des séances dites « PPG » sont toujours les mêmes, puisque le répertoire ne compte que 6 exercices différents pour ce genre de séance.

- Séance « développement »

L'objectif de cette séance est de travailler les « qualités de pied »²⁶ du coureur. En d'autres termes, les exercices proposés par le myotest dans cette séance sont destinés à améliorer la qualité et l'efficacité des appuis du coureur, en optimisant notamment les propriétés élastiques de ses structures musculo-tendineuses. Après 20 minutes d'échauffement sous forme de jogging, 2 séries de 6 exercices de réactivité (alliant les

²⁶ Quelles sont les valeurs mesurées par le Myotest Run ? Consulté le 18 avril 2012. Disponible sur : http://www.myotest.com/index.php?option=com_content&view=article&id=59&Itemid=133&lang=fr

3. Approche théorique

facteurs de force et de vitesse), principalement en pliométrie, sont organisées par l'appareil. 1'30 de jogging est conseillé comme intervalle de pause entre les exercices. Les effets positifs de ce type d'exercices sur notre Cr sont reconnus des chercheurs et détaillés dans un chapitre précédent.

Pour ce type de séances, ce sont les résultats du « Myocheck » qui définissent le contenu des 2 séries d'exercices. Parmi les 5 qualités musculaires mesurées (force, extension, réactivité, stiffness et coordination), 2 exercices sont choisis pour les 2 domaines les plus faibles, 1 exercice pour les 2 domaines jugés moyennement par l'appareil et finalement, le domaine le plus performant n'est lui pas entraîné.

Ce type de séances, dites de « développement », est donc proposé par l'appareil selon les besoins de chacun.

- Séance « intervalles »

L'objectif de cette séance est d'intégrer les « qualités de pied », travaillées dans la phase de développement, dans l'entraînement de course de l'athlète. On cherche à améliorer la qualité de course à haute intensité du coureur à pied. Suite à un échauffement de 15' de jogging, l'entraînement est organisé sous forme d'intervalles de 30" : 30" de course rapide (85% de la FCmax) , 30" d'exercices, 30" de course légère. 3 séries de 9 minutes sont prévues dans une séance, avec une pause de 2'30 entre chaque série.

Les séries sont à chaque fois identiques. Elles se composent de trois exercices différents, un dans le domaine de l'extension, un pour la réactivité et un pour la « stiffness ». Les séances d'entraînement de ce type sont considérées comme séances à « haute intensité » dans le monde de la course à pied. Les récentes études analysées précédemment dans ce travail ont démontré les effets positifs de ce type de séance sur la VO2max, le seuil anaérobie et le Cr du sportif.

3.4.3 Validité des mesures

Ces dernières années, plusieurs études se sont penchées sur la validité et la reproductibilité des mesures de l'accéléromètre tri-axial de Myotest. Il est important de différencier deux groupes d'études, qui se distinguent de par leur méthode. En effet, certaines d'entre elles ont testé la validité des mesures de l'appareil lorsque celui-ci est

3. Approche théorique

fixé à une barre de squat, d'autres ont analysé les mesures de l'appareil lorsque celui-ci est fixé directement sur l'individu, comme c'est le cas du Myotest Run, où l'appareil vient se fixer sur une ceinture, au niveau des hanches du coureur.

3.4.3.1 Myotest fixé à une barre de squat

L'étude de Comstock et al. (2010) a pour objectif de comparer les mesures du Myotest avec celles d'un appareil de laboratoire de type BMS (ballistic measurement system). 54 hommes et 43 femmes forment le groupe de sujets qui doit effectuer deux types d'exercices. Le premier test a pour objectif de calculer la force maximale de l'individu et consiste à effectuer 1RM (répétition maximale) de squat puis 1RM de « développé couché »²⁷. Le deuxième exercice a pour objectif de calculer la puissance du sujet et consiste à effectuer une série de squat jump à 30% de 1RM puis une série de « développé couché jeté »²⁸ également à 30% de 1RM. Les résultats sont très bons. La reproductibilité de l'appareil est excellente (0.96). La validité des mesures est elle aussi bonne, à très bonne, étant donné la corrélation entre les deux systèmes de mesure, supérieure à 0.7, pour la force et la puissance. Les légères différences dans les mesures, en particulier pour la série de squats jumps à 30% de 1 RM, peuvent être expliquées par une légère rotation de la barre de squat, sur le plan horizontal, au moment de la poussée. Les conclusions de cette étude permettent de valider les résultats des mesures de l'appareil Myotest fixé sur une barre, dans des exercices de squat ou de « développé couché ».

En 2011 paraît une étude (Crewther et al. 2011) similaire qui vise à vérifier la validité des mesures en force et puissance de l'appareil lors de squats jumps, quand ce dernier est fixé à la barre de squat. Le nombre de sujets est cette fois-ci relativement restreint. 12 hommes entraînés au travail de force effectuent des squats jumps avec des charges additionnels (20 kg, 40 kg, 60 kg et 80 kg). Les mesures prises avec l'accéléromètre triaxial de Myotest sont modérément à hautement corrélées à celles relevées par une plateforme de force en laboratoire. Les résultats relèvent toutefois certaines erreurs

²⁷ « Bench press » en anglais.

²⁸ « Bench throw » en anglais : il s'agit de projeter la barre le plus haut possible en dessus de soi.

3. Approche théorique

aléatoires qui pourraient être expliquées par une légère rotation de la barre sur le plan horizontal au moment de la poussée.

3.4.3.2 *Myotest directement sur le sujet*

Peu d'études se sont penchées sur la validité des mesures du Myotest, lorsque celui-ci est directement fixé sur l'individu, comme c'est le cas pour le Myotest Run.

Dans l'étude de Casartelli et al. (2010), 44 basketteurs effectuent des séries de squats jumps, CMJ et des bonds répétés afin de mesurer la hauteur verticale de ces sauts. Les mesures relevées par l'appareil Myotest sont comparées à celles relevées par le système « optojump »²⁹. La hauteur des sauts est calculée à l'aide du temps de vol et de la vitesse initiale. Les résultats de cette étude démontrent une validité correcte dans les mesures de temps de vol mais par contre de grosses différences de mesure entre les 2 systèmes pour la vitesse initiale. Les chercheurs concluent donc que la mesure de la vitesse initiale relevée par le Myotest n'est ni valide ni reproductible. Ils avancent l'hypothèse de perturbations dues à de légers déplacements horizontaux lors de la poussée. Ces déplacements horizontaux auraient des conséquences significatives sur les mesures de différentes formes de sauts verticaux.

Houel et al. (2011) ont eux comparé les mesures de l'appareil Myotest avec celles d'une plateforme de force dans un seul exercice, le squat jump. La vitesse maximale, la vitesse initiale et le temps de vol de 9 individus sont pris en compte. Les résultats démontrent une Vmax valable et reproductible. La validité de la mesure de la vitesse initiale n'a pas pu être établie. Quand au temps de vol mesuré, l'étude démontre une sous estimation significative pour l'appareil Myotest. Les chercheurs pensent que le fait que l'appareil soit fixé sur les hanches, et donc pas directement sur le centre de gravité du sujet, peut avoir une influence sur les résultats mesurés.

²⁹ C'est un système de mesure optique. Optojump permet de mesurer (au 1/1000ème) les temps de contact au sol et de vol d'une série de sauts effectués par un athlète. Il permet une évaluation de la force explosive, de la force réactive et de la puissance des membres inférieurs.

3. Approche théorique

3.4.3.3 *Conséquences pour cette étude*

Les sujets de cette étude utilisent l'accéléromètre de « Myotest » lorsque celui-ci est directement fixé sur leurs hanches. Les récentes études menées par Casartelli et al. (2010) et Houel et al. (2011) démontrent des imprécisions significatives dans les mesures établies par le « Myotest », quand celui-ci est fixé directement sur le sujet. Les déplacements horizontaux du sujet lors des différents exercices de sauts verticaux en seraient alors la cause principale. La vitesse initiale mesurée par l'accéléromètre semble être le point faible de l'appareil, lorsque celui-ci est fixé sur l'individu.

Il est difficile d'évaluer l'impact réel de ces quelques approximations dans les mesures pour cette étude. La défaillance de l'appareil dans la reproductibilité des mesures relevées par l'étude de Casartelli et al. (2010) pose pourtant un réel problème. En effet, un moyen utilisé pour mesurer la progression des sujets après 6 semaines d'entraînement est le « Myocheck ». La comparaison entre les valeurs initiales et finales du « Myocheck » pour chaque individu ne semble donc pas être fiable à 100%. Ces imprécisions sont à prendre en compte dans les résultats de mon étude.

4 Etude comparative entre deux programmes d'entraînement en endurance

4.1 Objectifs

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer l'efficacité du programme d'entraînement proposé par l'appareil « Myotest Run » sur une période de 6 semaines. Nous chercherons également à vérifier notre hypothèse de départ, à savoir que les progrès dans la VMA du coureur est en partie due à l'amélioration de ses caractéristiques musculaires, et donc de sa foulée.

L'objectif secondaire de cette étude est de sonder les participants sur l'utilité et le confort d'un tel appareil pour leur entraînement en endurance. Ici, c'est le jugement subjectif des principaux intéressés qui nous intéresse.

4.2 Méthode

4.2.1 Sujets

20 individus des deux sexes, âgés de 20 à 64 ans et de niveaux différents en course à pied sont divisés en deux groupes, un groupe contrôle (C) de 12 personnes et un groupe expérimental (E) de 8 personnes. Les groupes sont formés de manière à répartir approximativement les individus selon leur âge, leur sexe et leur niveau de course à pied.

Groupe C :

- Moyenne d'âge de 41.5 ans
- Moyenne du niveau de course à pied de 2.3 (1=débutant, 2=moyen, 3=chevronné, 4=expert)
- 3 femmes et 9 hommes

4. Etude comparative entre deux programmes d'entraînement en endurance

Groupe E :

- Moyenne d'âge de 38 ans
- Moyenne du niveau de course à pied de 2.5 (1=débutant, 2=moyen, 3=chevronné, 4=expert)
- 3 femmes et 5 hommes

Tous les sujets sont en bonne santé et pratiquent du sport régulièrement. 13 des 20 candidats pratiquent la course à pied comme activité physique principale.

4.2.2 Protocole

4.2.2.1 Consignes générales

Les 2 plans d'entraînement ont été élaborés en tenant compte de la période de préparation dans laquelle les candidats se situent, en fin de phase de préparation physique générale. Ces deux plans sont donc essentiellement destinés à une période de pré-compétition.

Pour les 2 groupes, l'entraînement comprend 3 séances hebdomadaires durant une période de 6 semaines. La durée des séances peut varier de 45 à 70 minutes, sans différence notable entre les groupes. Les deux plans d'entraînement ont été pensés de façon à avoir une charge d'entraînement similaire.

Les consignes pour les 2 groupes étaient les mêmes. Il s'agissait de respecter au maximum le plan d'entraînement qui leur était donné. Le moindre petit écart par rapport au plan ou toute activité physique supplémentaire devaient être scrupuleusement notés dans leur « journal d'entraînement »³⁰. De plus, les sujets des deux groupes ont été priés d'évaluer le niveau de l'effort ressenti, après chaque séance d'entraînement, sur l'échelle de Borg³¹.

³⁰ Cf. annexe 1

³¹ Cf. annexe 2

4. Etude comparative entre deux programmes d'entraînement en endurance

4.2.2.2 Matériel à disposition des coureurs

Des montres « Polar » sont mises à disposition des participants des deux groupes. La FC du coureur est un bon indicateur de performance, spécialement si elle est combinée aux deux tableaux présentés ci-dessous. L'utilisation adéquate de ces 3 outils (polar et tableaux) permet au coureur à pied de s'entraîner dans les zones d'entraînement souhaitées et d'éviter ainsi le surentraînement ou, au contraire, l'entraînement trop peu intensif.

Le test VMA (VAMEVAL) initial du 19 mars 2012 permet aux candidats de connaître leur VMA et leur FCmax. Pour travailler au mieux avec leur plan d'entraînement respectif, les participants utilisent le tableau excel « zone d'entraînement » ci-dessous. En rentrant les données FC au repos, FCmax et VMA, cet outil les informe sur les différentes zones d'entraînement traditionnelles dans lesquelles ils se situent selon leur fréquence cardiaque ou leur VMA.

Tab. 2 : Le coureur rentre dans le tableau excel ses valeurs de FC au repos, VMA et FCmax et le programme lui calcule sa VMA, son temps par km et sa FC selon l'intensité de sa course.

		Zones d'entraînement							
FC repos	55	Endurance fondamentale		Endurance active		seuil		VMA	
FC réserve	140								
Intensité en %		50%	à 70%	71%	à 83%	84%	à 88%	89%	à 130%
VMA (KM/H)	17.0	8.5	11.9	12.1	14.1	14.3	15.0	15.1	22.1
Allure Ø/KM		10.2		13.1		14.6		18.6	
Minutes/KM		7.1	5.0	5.0	4.3	4.2	4.0	4.0	2.7
Minutes Ø/KM		6.1		4.6		4.1		3.3	
FCmax + limites	195	125	153	154	171	173	178	180	198
Ø FC		139		163		175		187	
Perception de l'effort*		FACILE		MOYEN		DIFFICILE		TRES DIFFICILE	
Visées d'entraînement		SANTÉ		FITNESS		PERFORMANCE		COMPETITION	
Séance type		continue		continue		continue-fractionné		fractionnée	

Les sujets des deux groupes ont aussi la possibilité de travailler avec un deuxième tableau qui, en fonction du pourcentage de leur VMA, leur donne les temps de passage sur différentes distances. Le groupe C s'en sert pour déterminer précisément leur allure pour les séries de 100m et de 300m programmées dans leur entraînement.

4. Etude comparative entre deux programmes d'entraînement en endurance

Tab. 3 : Exemple de temps de passage sur différentes distances pour un sujet ayant une VMA de 16.5 km/h

16.5 % VAM	100 m	200 m	300 m	400 m	600 m	800 m	1000 m	3000 m	5000 m	6000 m
60	00:00:37	00:01:13	00:01:49	00:02:25	00:03:38	00:04:51	00:06:04	00:18:11	00:30:18	00:36:22
65	00:00:33	00:01:07	00:01:41	00:02:14	00:03:21	00:04:29	00:05:36	00:16:47	00:27:58	00:33:34
70	00:00:30	00:01:02	00:01:34	00:02:05	00:03:07	00:04:09	00:05:12	00:15:35	00:25:58	00:31:10
75	00:00:29	00:00:58	00:01:27	00:01:56	00:02:55	00:03:53	00:04:51	00:14:33	00:24:15	00:29:05
80	00:00:28	00:00:55	00:01:22	00:01:49	00:02:44	00:03:38	00:04:33	00:13:38	00:22:44	00:27:16
85	00:00:25	00:00:51	00:01:17	00:01:43	00:02:34	00:03:25	00:04:17	00:12:50	00:21:23	00:25:40
90	00:00:23	00:00:48	00:01:13	00:01:37	00:02:25	00:03:14	00:04:02	00:12:07	00:20:12	00:24:15
95	00:00:23	00:00:46	00:01:09	00:01:32	00:02:18	00:03:04	00:03:50	00:11:29	00:19:08	00:22:58
100	00:00:23	00:00:44	00:01:05	00:01:27	00:02:11	00:02:55	00:03:38	00:10:55	00:18:11	00:21:49
105	00:00:22	00:00:42	00:01:02	00:01:23	00:02:05	00:02:46	00:03:28	00:10:23	00:17:19	00:20:47
110	00:00:20	00:00:40	00:01:00	00:01:19	00:01:59	00:02:39	00:03:18	00:09:55	00:16:32	00:19:50
115	00:00:19	00:00:38	00:00:57	00:01:16	00:01:54	00:02:32	00:03:10	00:09:29	00:15:49	00:18:58
120	00:00:17	00:00:36	00:00:55	00:01:13	00:01:49	00:02:25	00:03:02	00:09:05	00:15:09	00:18:11
125	00:00:18	00:00:35	00:00:52	00:01:10	00:01:45	00:02:20	00:02:55	00:08:44	00:14:33	00:17:27
130	00:00:18	00:00:34	00:00:50	00:01:07	00:01:41	00:02:14	00:02:48	00:08:23	00:13:59	00:16:47
135	00:00:16	00:00:32	00:00:48	00:01:05	00:01:37	00:02:09	00:02:42	00:08:05	00:13:28	00:16:10
140	00:00:15	00:00:31	00:00:47	00:01:02	00:01:34	00:02:05	00:02:36	00:07:48	00:12:59	00:15:35

Les sujets du groupe E reçoivent également en prêt une sacoche « Myotest Run » qu'ils garderont durant toute la durée de l'étude. Cette sacoche contient l'accéléromètre en question, une ceinture, un câble d'alimentation, un CD-ROM faisant office de notice d'instruction et un « carnet d'entraînement ».

4.2.2.3 Programme d'entraînement du groupe C³²

Les conseils d'un entraîneur « Swiss Olympic », Gérald Rumo, et quelques ouvrages de base liés au monde de l'endurance m'ont permis de préparer un programme d'entraînement « standard » pour un coureur de fond. Ce programme d'entraînement constitue la principale différence de cette étude et de celle menée en 2011 par l'équipe de Hasegawa. Ce plan d'entraînement se base en priorité sur les principes³³ suivants :

- La spécificité : Il s'agit de proposer un contenu d'entraînement adapté à la discipline et à l'athlète qui la pratique.
- La surcompensation (ou surcharge) : L'exercice physique induit une certaine fatigue. Suite à une période de récupération, l'individu récupère de cette fatigue et atteint même un niveau supérieur de forme. L'alternance entre les exercices physiques et les pauses permet donc une amélioration générale du potentiel physique de l'individu. Ceci si les séances sont bien agencées.

³² Cf. annexe 3.

³³ Thibault, Guy. *Sports d'endurance. Entraînement et performance*. Editions Amphora, Paris, 2011, p.76-80.

4. Etude comparative entre deux programmes d'entraînement en endurance

- La progressivité : La surcharge doit se faire de manière régulière et progressive, de façon à éviter les effets néfastes d'un surentraînement³⁴. Dans le cas contraire, une augmentation trop faible de la charge d'entraînement n'induit pas les processus d'adaptation escomptés.
- L'alternance dans le travail : Une alternance dans la nature de l'entraînement et une diversité dans les exercices permettent de maintenir une bonne motivation pour le coureur. Une alternance dans l'intensité des séances permet au coureur de développer ses capacités dans les différentes filières énergétiques. Finalement, il est judicieux d'alterner les séances de différents volumes dans la semaine, afin d'éviter le surentraînement. En général, volume et intensité évoluent en sens opposé.

La période d'entraînement de 6 semaines (tableau 4) est divisée en 3 macrocycles de deux semaines.

Tab. 4 : Périodisation de l'entraînement du groupe C

Durée totale : 6 semaines					
1er macrocycle		2ème macrocycle		3ème macrocycle	
Sem. 1	Sem. 2	Sem. 3	Sem. 4	Sem. 5	Sem. 6
s.1 : tests	s.1 : PPG	s.1 : PPG	s.1 : PPG	s.1 : C	s.1 : C
s.2 : PPG	s.2 : C	s.2 : S	s.2 : S	s.2 : S	s.2 : S
s.3 : C	s.3 : C	s.3 : C	s.3 : C	s.3 : C	s.3 : C
s=séance, PPG=préparation physique générale, C=continu, S=séries					

Le 1^{er} macrocycle est construit de façon à développer en particulier la condition physique générale du sujet. L'objectif principal de ces deux premières semaines d'entraînement est de préparer le corps de l'individu pour la course à pied. Des exercices spécifiques pour la course à pied sont programmés dans les séances de préparation physique générale, sous forme de circuit training³⁵.

Le 2^{ème} macrocycle contient une séance de chaque type (PPG – séries – continu)³⁶ par semaine. L'intégration de séries ou de séances dites « fractionnées », à 100% de la VMA,

³⁴ Wilmore, Jack H. & Costill, David L. *Physiologie du sport et de l'exercice. Adaptations physiologiques à l'exercice physique*, p. 389-392.

³⁵ Cf. annexe 4 & 5.

³⁶ Pour plus d'informations sur les méthodes d'entraînement, voir : Zintel, Fritz & Eisenhut, Andrea. *Ausdauertraining*. BLV Buchverlag, München, 2009, p. 114-126.

4. Etude comparative entre deux programmes d'entraînement en endurance

a pour objectif de développer la VO₂max et la VMA du coureur, ainsi que ses capacités anaérobies.

Le 3^{ème} macrocycle est lui basé uniquement sur des séances de type continu et de séries. Cette dernière étape de deux semaines a pour objectif de s'approcher des allures et des intensités de compétition.

L'augmentation de la charge d'entraînement est progressive tout au long de la période d'entraînement. Lors de chaque semaine d'entraînement (ou microcycle), des séances de différentes natures, intensité et volume sont programmées selon le principe fondamental de l'alternance.

Etant donné la courte période d'entraînement à disposition (6 semaines) et la charge d'entraînement hebdomadaire assez faible, il n'a pas été jugé nécessaire de programmer des séances de récupération à faible intensité.

4.2.2.4 Programme d'entraînement du groupe E³⁷

Le contenu des trois types de séances (PPG – Développement – Intervalles) est proposé par l'appareil « Myotest Run » et n'est pas modifiable. Les principes de spécificité, de surcompensation et d'alternance sont pris en compte dans la programmation de l'entraînement. L'avantage de l'appareil concerne un autre principe d'entraînement important, l'individualisation. En effet, le « Myocheck » effectué chaque début de semaine par les sujets du groupe expérimental leur permet de mesurer leurs caractéristiques musculaires et ainsi de personnaliser leurs séances d'entraînement en fonction de leurs points faibles et de leurs points forts. En revanche, le principe fondamental de progressivité n'est pas directement pris en compte par l'appareil dans la préparation des séances d'entraînement, la responsabilité d'augmenter les charges d'entraînement incombe aux sujets de l'étude.

La période d'entraînement du groupe E est également divisée en 3 macrocycles de deux semaines (tableau 5).

³⁷ Voir annexe 6.

4. Etude comparative entre deux programmes d'entraînement en endurance

Tab. 5 : Périodisation de l'entraînement du groupe E

Durée totale : 6 semaines					
1er macrocycle		2ème macrocycle		3ème macrocycle	
Sem. 1	Sem. 2	Sem. 3	Sem. 4	Sem. 5	Sem. 6
s.1 : tests	s.1 : PPG	s.1 : D	s.1 : D	s.1 : INT	s.1 : INT
s.2 : D	s.2 : D	s.2 : INT	s.2 : INT	s.2 : D	s.2 : D
s.3 : PPG	s.3 : PPG	s.3 : D	s.3 : D	s.3 : INT	s.3 : INT
s=séance, PPG=préparation physique générale, D=développement, INT=intervalles					

Le premier macrocycle a pour objectif de développer la condition physique générale de l'athlète. Selon une méthode intermittente, les séances alternent des exercices de renforcement musculaire avec de la course à pied de faible intensité.

Le deuxième macrocycle est construit de manière à améliorer la foulée du coureur. L'accent est mis sur les séances personnalisées de type « développement ».

Finalement, le 3^{ème} macrocycle, avec 2 séances d'intervalles par semaine, a pour but d'intégrer les qualités de course acquises précédemment dans la course en intermittent. La VO₂max et la VMA du coureur sont les cibles principales de cette dernière étape du programme d'entraînement.

4.3 Mesures

Tous les sujets ont participé à des tests initiaux et des tests finaux suite à leurs 6 semaines d'entraînement. Ceux-ci se composent d'un test VMA (VAMEVAL) et d'un « Myocheck ». Les candidats ont reçu avant chaque séance de tests quelques directives et conseils tirés de « Swiss Olympic »³⁸ :

- Eviter toute séance d'entraînement intensive 48h avant le test.
- Se présenter au test reposé et correctement hydraté.
- Eviter de changer vos habitudes alimentaires au cours des jours et des heures précédents le test.
- Signaler toute blessure, maladie ou méforme avant le début des tests.

De plus, les sujets étaient dirigés vers une vidéo³⁹ démontrant le déroulement d'un « Myocheck ». Ils ont également dû répondre à un e-mail leur demandant quelques informations biométriques concernant leur âge, leur poids et leur taille notamment.

³⁸ Tschopp, Markus (2001). *Manuel de référence. Diagnostique de la performance en endurance*. Macolin, version 2.0, 44 p.

³⁹ *Myotest Run - le Myocheck*. Clip vidéo réalisé par la société « Myotest ». Consulté le 19 avril 2012. Disponible sur : <http://www.youtube.com/watch?v=5lg7JXbIsYA>

4. Etude comparative entre deux programmes d'entraînement en endurance

Avant le début des tests, les sujets des deux groupes ont été priés de remplir un questionnaire⁴⁰ qui nous renseigne sur leur niveau de course à pied, mais également sur des données médicales (état de santé, humeur, motivation) et sur leurs activités physiques complémentaires. Ce questionnaire nous permettra par la suite de justifier les résultats obtenus et de les commenter.

4.3.1 VAMEVAL

Le VAMEVAL permet de mesurer deux paramètres incontournables pour les coureurs de fond, la VMA et la FCmax. Le test se déroule sur une piste d'athlétisme. Les 400 mètres de la piste sont jalonnés tous les 20 mètres. L'objectif du coureur est de rallier le prochain jalon à chaque bip sonore émis par un timer. Au départ, le timer est réglé sur 9 km/h, puis la vitesse augmente d'un demi km/h toutes les minutes. La VMA du coureur est la vitesse à laquelle il court lorsqu'il ne réussit pas à rejoindre le jalon suivant dans les temps (avec une tolérance de 1 à 2 mètres).

Tous les candidats sont également équipés d'un cardiofréquencemètre qui leur permet de connaître leur fréquence cardiaque à la VMA. La FC à la VMA est considérée par les scientifiques et les entraîneurs comme très proche de la FCmax du coureur, il n'est donc pas rare de les voir confondues ou associées.

Les sujets sont regroupés par deux, de façon à ce que l'un court et que l'autre puisse noter à quel moment son collègue s'est arrêté, à quelle allure il courait à ce moment-là. Après dix minutes d'échauffement libre, le premier groupe commence le test VAMEVAL. Le premier tour de piste est considéré comme échauffement et permet aux coureurs de prendre le rythme de 9 km/h. Le test dure en moyenne une vingtaine de minutes. Ensuite, les coureurs échangent leur rôle et c'est au tour du deuxième groupe de faire les tours de piste.

⁴⁰ Cf. annexe 7.

4. Etude comparative entre deux programmes d'entraînement en endurance

4.3.2 « Myocheck »

Le « Myocheck » permet de mesurer les caractéristiques musculaires du coureur, à savoir force, élévation, réactivité, stiffness et coordination. Le déroulement du test a déjà été expliqué dans un chapitre précédent.

Ce test s'est effectué sur un sol dur (béton). Les sujets ont été priés d'effectuer les tests initiaux et finaux avec les mêmes chaussures. Avant chaque « Myocheck », les sujets sont familiarisés avec le protocole de sauts. Des explications précises, accompagnées d'une démonstration liée à l'utilisation de l'appareil et au déroulement du test sont alors données aux candidats.

Suite à un échauffement libre d'une dizaine de minutes, les sujets se servent d'une des 8 ceintures Myotest à disposition et, après une brève vérification, procèdent au « Myocheck ». Avec mon professeur, nous nous tenons à disposition pour tout renseignement complémentaire et gardons un œil attentif sur le bon déroulement des tests.

4.3.3 Limites à prendre en compte

Le VAMEVAL est un test de terrain et ses résultats ne sont donc pas aussi précis qu'un test en laboratoire. Une limite peut être avancée sur le VAMEVAL, l'effet de groupe. Plusieurs personnes courent en même temps pour le test. Il est possible que, poussés par l'esprit de compétition, certains individus surpassent quelque peu leur véritable VMA. Toutefois, il est à noter que le VAMEVAL est un test de terrain très utilisé et sans doute le plus fiable pour mesurer la VMA du coureur à pied.

Pour ce qui est du « Myocheck », de récentes études ont démontré les limites dans les mesures de l'accéléromètre lorsque celui-ci est attaché directement sur la personne. Des oscillations horizontales seraient à l'origine du manque de précision dans les mesures et des problèmes liés à la validité et la fiabilité des résultats.

De plus, 5 appareils Myotest Run circulaient lors des tests. Il était alors difficile de vérifier chez tout le monde la bonne réalisation du test. Les résultats du « Myocheck » doivent donc être analysés avec prudence.

4. Etude comparative entre deux programmes d'entraînement en endurance

4.4 Résultats

4.4.1 VAMEVAL

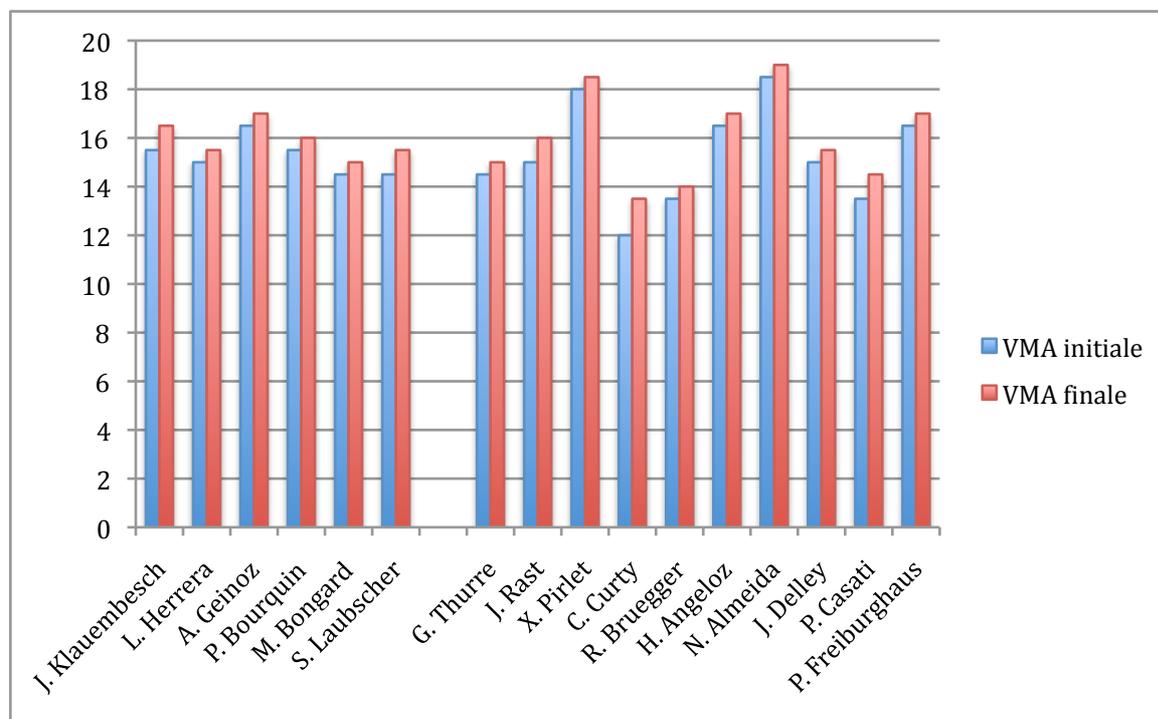


Fig. 10 : Evolution de la VMA des sujets des groupes E et C

La figure 10 démontre une évolution positive de la VMA de l'ensemble des sujets du groupe E et du groupe C. Suite aux 6 semaines d'entraînement, tous les participants à l'étude ont amélioré leur VMA de minimum $\frac{1}{2}$ km/h. En moyenne, le groupe E a progressé de 0.6 km/h et le groupe C de 0.7 km/h. Nous constatons également sur ce tableau une plus grande homogénéité dans les performances du groupe E. Céline Curty, du groupe témoin, a réalisé le plus grand progrès dans sa VMA, puisqu'elle a l'a augmentée de 1.5 km/h.

4.4.2 « Myocheck »

Le groupe E avait pour consigne de faire un « Myocheck » et de relever les résultats sur une feuille annexe chaque lundi, avant de commencer leur séance d'entraînement. De cette manière, leurs 3 séances d'entraînement de la semaine étaient programmées selon

4. Etude comparative entre deux programmes d'entraînement en endurance

leurs caractéristiques musculaires actuelles. Cette démarche s'avère importante dans l'analyse des résultats, afin d'avoir un suivi de l'évolution des performances des sujets du groupe E. Les tableaux en annexe⁴¹ représentent les courbes d'évolution des différentes caractéristiques musculaires des 6 sujets ayant pu terminer leur programme d'entraînement. Voici un exemple (figure 11) d'un sujet du groupe E :

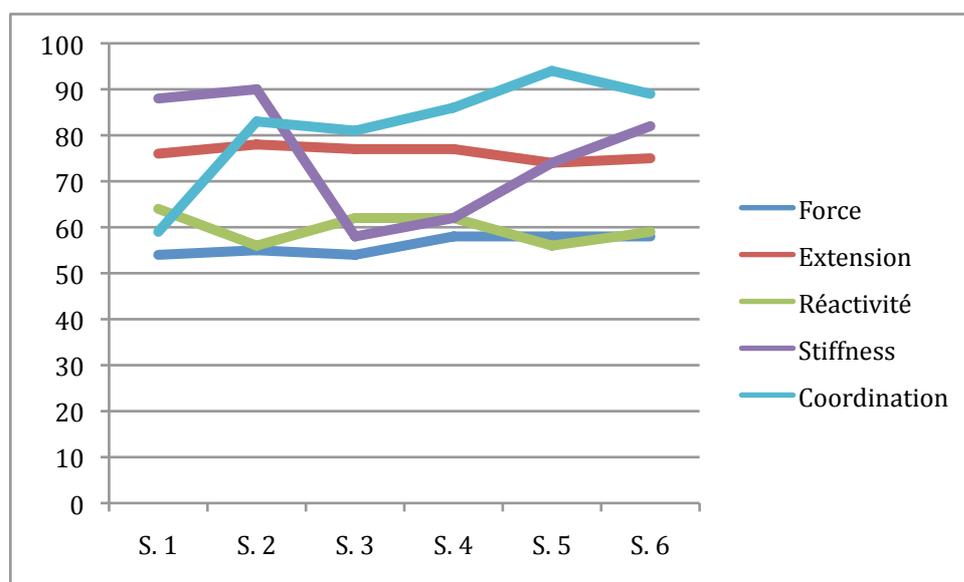


Fig. 11 : Exemple de l'évolution des caractéristiques musculaires (mesurées par le Myotest Run) d'un sujet du groupe E durant les 6 semaines d'entraînement

Nous constatons sur ce tableau que les valeurs de force, réactivité et extension n'ont que très peu évolué au cours des 6 semaines. Au contraire, nous constatons une nette amélioration pour le critère de coordination et une évolution, que nous pouvons qualifier d'anarchique, pour le critère de la « stiffness ».

La figure 12 compare la moyenne des résultats des « Myocheck » initiaux et finaux, des groupes E et C. Il ressort principalement de ce tableau une diminution significative des paramètres de force, d'extension et de « stiffness » pour le groupe E suite aux 6 semaines d'entraînement. Ces résultats indiquent qu'en moyenne, les sujets du groupe E auraient perdu près de 9% de leur force dans leurs membres inférieurs. La détérioration des résultats est nettement moins significative pour le groupe C. Nous constatons également une légère amélioration de la réactivité pour le groupe E, au contraire du groupe C qui perd lui légèrement en réactivité. Le critère de la coordination augmente

⁴¹ Cf. annexe 8.

4. Etude comparative entre deux programmes d'entraînement en endurance

dans les deux groupes, de façon très nette dans le groupe E, un peu moins dans le groupe C.

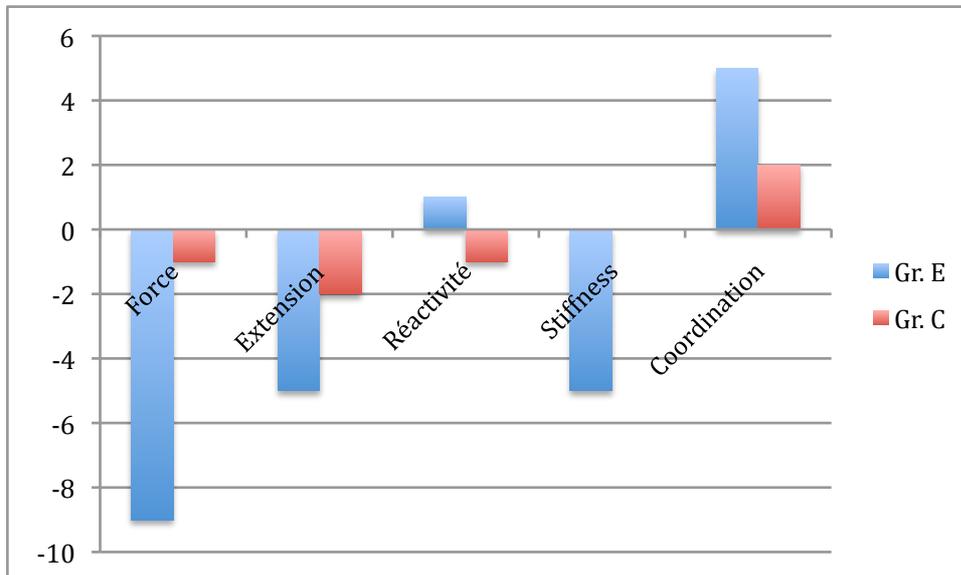


Fig. 12 : Evolution moyenne (en %) des caractéristiques musculaires des sujets du groupe E et C

4.4.3 Sondage

L'avis des sujets est particulièrement intéressant dans cette étude. Chaque groupe a reçu un questionnaire⁴² à remplir, peu avant l'épreuve finale de VMA, de manière à ce qu'ils ne connaissent pas encore leurs progrès. Les questionnaires ont une première partie identique (figure 11). Une partie supplémentaire (figure 12), concernant plus spécifiquement l'appareil « Myotest Run », complète le sondage du groupe E.

⁴² Cf. annexe 9.

4. Etude comparative entre deux programmes d'entraînement en endurance

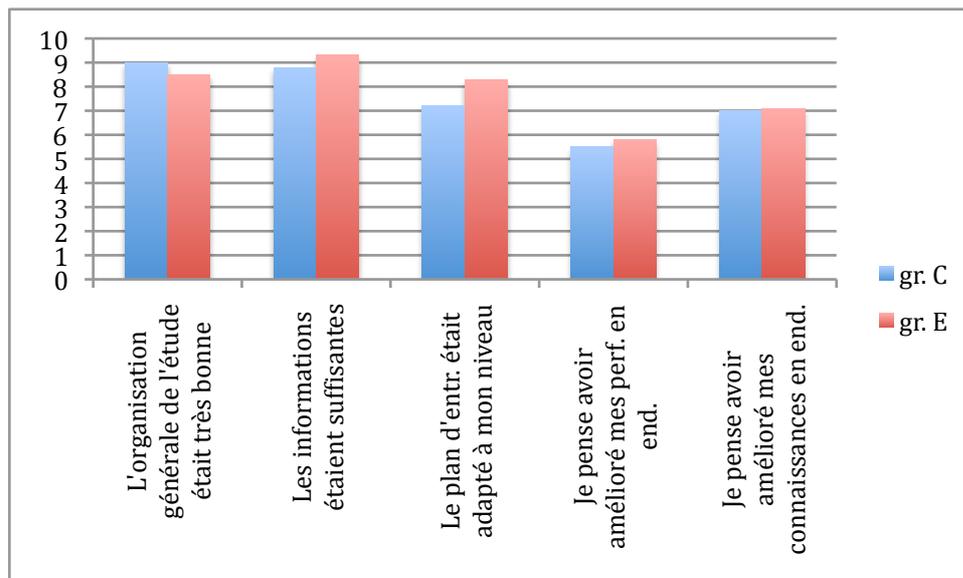


Fig. 13 : Graphique représentant le sondage concernant l'organisation de l'étude et l'apport de ces 6 semaines d'entraînement. L'axe des y s'échelonne de 1 (pas du tout d'accord) à 10 (tout à fait d'accord) en fonction de la satisfaction des sujets. Les valeurs au-dessus de chaque question représentent la moyenne des notes du groupe C et du groupe E.

La première partie du sondage (figure 13) est identique aux deux groupes. La différence la plus marquante entre les deux groupes se situe dans la question sur le plan d'entraînement, à savoir si ce dernier était adapté au niveau des candidats. Ces derniers ont jugé de manière très positive, des notes proches de 9 sur 10, l'organisation générale de l'étude et le suivi de celle-ci. Au contraire, les sujets du groupe C et du groupe E semblent sceptiques quand au fait d'avoir amélioré leur performance en endurance après ces 6 semaines d'entraînement.

4. Etude comparative entre deux programmes d'entraînement en endurance

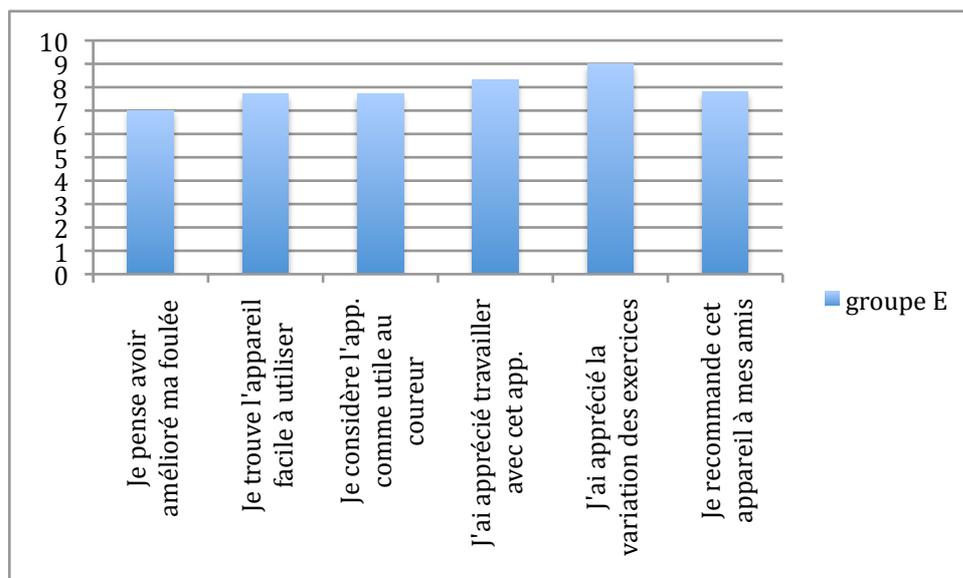


Fig. 14 : Graphique représentant la deuxième partie du sondage concernant l'appareil "Myotest Run"; L'axe des y s'échelonne de 1 (pas du tout d'accord) à 10 (tout à fait d'accord) en fonction de la satisfaction des sujets. Les valeurs au-dessus de chaque question représentent la moyenne des notes du groupe E.

La deuxième partie du sondage (figure 14) ne concerne que le groupe E, puisqu'il s'intéresse essentiellement au « Myotest Run » et à son programme d'entraînement. Les résultats du sondage démontrent des valeurs supérieures ou égales à 7 sur 10 et semblent donc démontrer la satisfaction générale de l'entraînement avec cet appareil.

D'une manière générale, les sujets du groupe E pensent avoir amélioré leur foulée grâce à l'appareil Myotest. Ils ont trouvé l'appareil facile à utiliser et utile au coureur à pied. Ils ont particulièrement apprécié la variation des exercices proposés par le Myotest Run et recommanderaient pour la plupart cet appareil à leurs amis.

4.5 Discussion et interprétation des résultats

4.5.1 Blessures

20 sujets se sont engagés à suivre ces 6 semaines d'entraînement. Malheureusement, 4 d'entre eux n'ont pas pu terminer leur programme suite à une blessure. Pour l'un d'entre eux, la blessure n'a pas de rapport direct avec le programme d'entraînement, puisqu'elle est intervenue lors d'un match de football, durant le week-end. Par contre, les trois autres personnes ont contracté des blessures qui ont un lien direct avec leur programme d'entraînement.

4. Etude comparative entre deux programmes d'entraînement en endurance

2 personnes font partie du groupe E. Daniel Dünner a contracté une blessure musculaire récurrente à sa jambe droite, qui a tous les symptômes d'une périostite tibiale. Ce candidat peut être considéré comme très sportif puisqu'il consacre entre 5h et 8h par semaine à ses activités physiques. Toutefois, la course à pied n'est pas son sport principal et il se considère comme un coureur moyen. Peut-être que son manque d'expérience dans le domaine de la course à pied a joué un rôle dans sa blessure. Cette personne a également choisi de continuer ses activités physiques habituelles durant les semaines d'entraînement. Des séries de force, des entraînements de volley, du vélo et de la natation sont venus s'ajouter aux 3 séances d'entraînement prévues dans son programme hebdomadaire. Ce participant a probablement subi les effets néfastes d'un surentraînement.

Pour Laetitia Mathys, qui se considère comme « chevronnée » dans le domaine de la course à pied et qui a l'habitude de s'entraîner jusqu'à 6h par semaine dans ce sport, son niveau de course à pied n'est vraisemblablement pas à l'origine de sa blessure au talon d'achille. Certains exercices proposés par le « Myotest Run » sollicitent fortement la musculature et les tendons du coureur. Peu habituée aux exercices de force de l'appareil, Laetitia a peut-être contracté une blessure de fatigue. Tout comme Dani Dünner, elle a également complété son programme avec des séances supplémentaires. Le diagnostic d'un surentraînement provoquant une blessure de fatigue au tendon d'achille n'est donc pas à exclure.

Pascal Bapst, du groupe C, s'est blessé aux adducteurs durant une séance d'entraînement. Se considérant comme débutant en course à pied, le programme d'entraînement proposé était sans doute trop exigeant pour son niveau de course à pied et sa condition physique du moment.

4.5.2 VAMEVAL

Tous les coureurs ont amélioré leur VMA suite aux 6 semaines d'entraînement. Ces résultats positifs démontrent clairement l'efficacité des deux programmes d'entraînement proposés aux candidats.

La très légère différence de progrès de la VMA entre le groupe C (+0.7 km/h) et le groupe E (+0.6 km/h) n'est pas significative. Ce très léger avantage pour le groupe C peut être en partie expliqué par une valeur extrême d'un sujet, qui a augmenté sa VMA

4. Etude comparative entre deux programmes d'entraînement en endurance

de 1,5 km/h. La personne en question, C. Curty, n'était pas dans de bonnes conditions le jour du test initial, elle sortait tout juste de maladie. Si on enlève cette valeur suspecte, la moyenne de la progression des deux groupes est la même, à savoir +0.6 km/h.

Ces chiffres ne permettent pas d'affirmer qu'une méthode d'entraînement est plus efficace que l'autre pour améliorer la VMA du coureur de fond. Un nombre plus élevé de candidats aurait sûrement permis d'affiner les statistiques et de comparer de manière plus précise les différences de résultats entre les deux programmes d'entraînement.

Bien que ces résultats ne permettent pas d'affirmer la supériorité d'un programme d'entraînement sur l'autre, ils démontrent une indéniable amélioration de la VMA du coureur suite à 6 semaines d'entraînement avec l'appareil « Myotest Run ». Ainsi, les résultats du VAMEVAL répondent à l'objectif premier de ce travail en démontrant l'efficacité d'un tel programme sur l'un des prédicteurs importants de la performance en endurance, à savoir la VMA du coureur.

Les résultats du test VAMEVAL doivent prendre en considération un paramètre externe, le suivi des plans d'entraînement. Les journaux d'entraînement tenus par les sujets tout au long des 6 semaines nous apprennent que beaucoup de personnes ont continué, parallèlement à leur programme, leurs activités physiques habituelles. Certains participants ont choisi de remplacer l'une ou l'autre séance par des compétitions de course pied ou des matchs de football. D'autres ont préféré suivre scrupuleusement le programme, en y ajoutant certaines séances consacrées à leurs différentes activités sportives. Toutefois dans l'ensemble, les plans d'entraînement ont bien été respectés et dans la plupart des cas, il s'agit de quelques ajouts d'activités physiques complémentaires.

Seuls 6 personnes (3 du groupe C et 3 du groupe E) ont affirmé avoir effectué toutes les séances programmées et ne pas avoir eu d'autres activités physiques conséquentes durant ces 6 semaines.

4.5.3 « Myocheck »

Les résultats mesurés par l'appareil « Myotest Run » sont très surprenants. D'une manière générale, ils indiquent une nette chute de performance en force, en extension et

4. Etude comparative entre deux programmes d'entraînement en endurance

en stiffness pour le groupe E. Les résultats du groupe C sont également en baisse suite aux 6 semaines d'entraînement, mais de manière moins significative.

En théorie, ces résultats sont donc contraires aux attentes escomptées et à l'hypothèse de départ de ce travail. Le programme élaboré par la société Myotest est construit de façon à améliorer les caractéristiques musculaires du coureur de fond. Ces progrès seraient à la base d'une optimisation de la foulée du coureur qui engendrerait alors une amélioration des performances en endurance.

Les résultats des « Myocheck » ne permettent donc pas de confirmer les bases théoriques sur lesquelles se base tout le concept du « Myotest Run ». Désormais, il s'agit de trouver des explications à ces résultats qui semblent pour le moins hasardeux.

Validité et fiabilité des mesures du « Myotest Run »

Des approximations dans les mesures du « Myotest » ont été observées lorsque l'appareil est directement fixé sur le sujet, latéralement, au niveau du grand trochanter. Comme évoqué dans un chapitre précédent, des oscillations horizontales influenceraient les mesures et les calculs permettant de calculer vitesse et force verticale du sujet. La validité et la fiabilité des mesures du « Myocheck » ne sont donc pas satisfaisantes, quand celui-ci est directement fixé sur le sujet.

De plus, la sensibilité de l'accéléromètre est telle, qu'un appareil pas bien fixé, ou alors fixé sur plusieurs couches d'habits, peut également influencer plus ou moins fortement les résultats.

Imprécisions liées au protocole de test

Les « Myocheck » initiaux, effectués le 19 mars 2012, se sont déroulés à l'intérieur, sur du dallage, en raison des mauvaises conditions météorologiques extérieures. Les tests du 30 avril 2012 se sont déroulés à l'extérieur, sur un sol goudronné. Peut-être que cette différence de sol peut avoir une certaine influence sur les résultats des tests.

Il a été demandé aux candidats de se peser avant les tests initiaux et finaux. Le poids des candidats joue un rôle important dans les 2 sauts du « Myocheck ». Une balance sur

4. Etude comparative entre deux programmes d'entraînement en endurance

place, le jour des tests, pour peser avec précision chaque candidat aurait assurément été utile.

Finalement, et c'est peut-être l'explication qui a le plus de poids, les sujets ont bénéficié de quelques explications et d'une démonstration puis se sont lancés dans les tests, individuellement, chacun de leur côté. Certaines personnes ont choisi de faire plusieurs essais, d'autres n'ont pas jugé nécessaire. Pour ma part, je n'ai pas pu passer chez chacune d'entre elles pour vérifier la bonne réalisation des CMJ et des bonds, et pour donner des feed-back individuels aux participants. Des petits détails dans la manière de sauter peuvent avoir de grandes conséquences sur les résultats.

Dans l'idéal, il aurait fallu pouvoir faire 3 ou 4 « Myocheck » par participant et retenir seulement le meilleur d'entre eux. Chaque sujet aurait également dû bénéficier de conseils personnalisés sur la réalisation de leurs sauts. Ces dispositions auraient nécessité du temps supplémentaire. Mais après avoir recueilli et analysé ces surprenants résultats, de telles mesures semblent nécessaires au bon déroulement du « Myocheck ». Le tableau 6 synthétise le protocole de test utilisé et le compare à un protocole mieux adapté à ce genre de test.

Tab. 6 : Comparaison entre le protocole de test utilisé et un protocole "idéal"

Protocole réalisé	Protocole idéal
<p><u>Quelques jours avant le test :</u></p> <p>→ Les sujets se familiarisent avec une vidéo démontrant le test à réaliser. → Les sujets reçoivent des informations pour la préparation en vue d'un test de performance, informations tirées de « Swiss Olympic ». → Les sujets doivent se peser avant de venir au test.</p>	<p><u>Quelques jours avant le test :</u></p> <p>→ Les sujets se familiarisent avec une vidéo démontrant le test à réaliser. → Les sujets reçoivent des informations pour la préparation en vue d'un test de performance, informations tirées de « Swiss Olympic ».</p>
<p><u>Peu avant le début des tests :</u></p> <p>→ Démonstration concrète d'un « Myocheck » → Questions, remarques, ...</p>	<p><u>Peu avant le début des tests :</u></p> <p>→ Balance à disposition pour connaître précisément le poids des sujets → Démonstration concrète d'un « Myocheck » → Questions, remarques, ...</p>

4. Etude comparative entre deux programmes d'entraînement en endurance

<u>Déroulement du test :</u>	<u>Déroulement du test :</u>
<ul style="list-style-type: none">→ 5 appareils circulent parmi les sujets.→ Mon professeur et moi veillons à la bonne réalisation des tests.	<ul style="list-style-type: none">→ Les tests sont réalisés sur un seul appareil, chacun son tour.→ 3 essais par sujet, seul le meilleur compte→ Si l'un des essais n'est pas exécuté correctement, possibilité de le refaire immédiatement.

Aspects motivationnels

Lors des tests initiaux du 19 mars 2012, les sujets des groupes E et C étaient tous motivés et impatients de commencer cette étude. 6 semaines plus tard, certains d'entre eux m'ont fait part de leur relative déception, de leur crainte de ne pas avoir fait des progrès significatifs dans leur performance en endurance. Ce sentiment de déception se remarque également dans le sondage, où les sujets des deux groupes ont répondu de manière très différente à la question « je pense avoir amélioré mes performances en endurance ». Pour certains candidats, nous pouvons avancer l'hypothèse d'un manque de motivation pour les « Myocheck » finaux, sceptiques quand au fait d'avoir progressé dans leur performance en endurance.

N'oublions pas toutefois qu'ils se sont tout de même tous améliorés au VAMEVAL !

Taille de l'échantillon

Initialement, 20 personnes se sont lancées dans cette étude, soit un nombre tout à fait acceptable. Malheureusement 4 d'entre elles n'ont pas pu aller au bout de celle-ci, dont 2 faisant partie du groupe E. La fiabilité des analyses statistiques se voit diminuée par le nombre réduit des participants, spécialement par le manque de sujets dans le groupe E, qui n'étaient plus que 6 à terminer l'étude.

Une étude de plus grande envergure est nécessaire.

4. Etude comparative entre deux programmes d'entraînement en endurance

4.5.4 Sondage

Quelques informations importantes ressortent de ce sondage. Nous pouvons tout d'abord constater un certain scepticisme dans les réponses des deux groupes à la question : « Je pense avoir amélioré mes performances en endurance ». Certains candidats sont arrivés au test final avec de sérieux doutes quand à leur progression en endurance suite à ces 6 semaines d'entraînement. 2 personnes du groupe E et 2 personnes du groupe C ont répondu à cette question par une valeur en-dessous de 5/10. Ceux-ci n'estiment donc pas ou peu avoir progressé grâce à leur programme d'entraînement respectif. Pourtant, le test VMA final a prouvé que chaque individu a amélioré sa VMA de minimum $\frac{1}{2}$ km/h par rapport au test initial. Nous pouvons expliquer cette relative méfiance des candidats par les spécificités des deux plans d'entraînement. En effet, que ce soit pour le groupe C ou le groupe E, les plans d'entraînement proposés changent radicalement des habitudes des coureurs engagés dans cette étude. La plupart d'entre eux avaient pour habitude de courir régulièrement et sur de longues distances en continu. Ils ont probablement été surpris du peu de temps consacré à la course dans chaque programme. Ceci est particulièrement le cas pour le groupe E, où l'on ne court jamais plus longtemps que 30" de suite à la même allure ! D'une manière générale, les participants ont salué la bonne organisation de l'étude et la qualité des informations reçues durant celle-ci. Ces jugements ajoutent un certain crédit à cette étude.

Les avis du groupe E concernant l'utilité d'un tel appareil sont très divisés. 3 personnes semblent avoir été convaincus par l'appareil. Ils estiment avoir progressé dans l'efficacité de leur foulée, ils sont persuadés de l'utilité d'un tel appareil pour la course à pied et le recommanderaient volontiers à leurs amis.

2 personnes sont elles moyennement convaincu par l'appareil. Celles-ci ne sont pas sûres d'avoir réalisé des progrès en endurance et dans leur foulée. Elles ont moyennement apprécié s'entraîner avec cet appareil. Finalement, 1 personne s'estime très peu satisfaite de ses 6 semaines d'entraînement avec le « Myotest Run ». Elle est persuadée de ne pas avoir amélioré sa foulée (note 1 sur 10) ni ses performances en endurance (2/10). Elle reste très sceptique quand à l'utilité d'un tel appareil pour le

4. Etude comparative entre deux programmes d'entraînement en endurance

coureur à pied. Ce candidat a tout de même apprécié la variation des exercices proposés par l'appareil.

D'une manière générale, ce sondage fait transparaître la satisfaction des candidats à avoir participé à cette étude, malgré quelques doutes sur la réelle efficacité des deux programmes d'entraînement proposés.

4.6 Points forts et points faibles de l'étude

L'un des points forts de cette étude est assurément l'assiduité des sujets dans leurs tâches et dans leurs entraînements. Ils se sont investis à 100% dans cette étude et ont respecté les consignes et les contraintes liées à un tel entraînement. Ce n'est pas évident de trouver 20 volontaires, prêts et motivés à s'investir dans une étude d'une durée de 6 semaines, qui leur demande beaucoup de temps et d'énergie. Ces personnes ont accepté de participer et de me faire confiance, sans avoir aucune garantie de progresser dans leur performance en endurance.

Tous les participants ont réalisé des progrès dans leur VMA. Les résultats du test VAMEVAL répondent positivement à l'objectif premier de cette étude, qui était d'évaluer l'efficacité du programme Myotest Run. Nous pouvons désormais affirmer que le programme d'entraînement développé par la société valaisanne est tout aussi efficace qu'un entraînement « standard » en course à pied de moyenne ou de longue distance. Cette progression unanime nous permet de confirmer partiellement notre hypothèse de départ et illustre parfaitement les bases théoriques développées dans ce travail.

De plus, l'amélioration de la VMA de tous les sujets, aussi bien du groupe C que du groupe E, nous amène à penser que les deux plans d'entraînement sont efficaces. Pour la majorité des participants, ils n'avaient pas pour habitude de travailler selon un plan d'entraînement structuré. Cette expérience leur permet de constater l'importance de la programmation et de la périodisation des séances d'entraînement.

Le sondage final laisse entrevoir la satisfaction quasi générale des participants à avoir pris part à cette étude. Pour la plupart, ils ont non seulement progressé dans leur VMA mais ont également accumulé de nouvelles expériences et connaissances dans le domaine de l'endurance en course à pied.

4. Etude comparative entre deux programmes d'entraînement en endurance

Le point faible de ce travail réside dans les résultats très surprenants des tests « Myocheck ». Pour le groupe E, ces derniers démontrent une nette régression dans certains facteurs comme la force, l'extension et la stiffness et ne permettent donc pas de confirmer notre hypothèse de départ, qui s'appuyait sur des bases théoriques solides. En effet, nous nous attendions à mesurer une certaine progression dans les caractéristiques musculaires des sujets du groupe E, qui serait à l'origine de l'amélioration de leur VMA et donc de leurs performances en endurance. Malheureusement, des imprécisions liées au protocole et aux mesures du test lui-même ont assurément détérioré la fiabilité des résultats du test « Myocheck ».

Etant donné que beaucoup de candidats ont continué leurs activités sportives habituelles durant les 6 semaines d'entraînement, il est difficile de mesurer l'impact de celles-ci dans la progression de la VMA des sujets des groupes C et E. L'idéal serait de pouvoir travailler avec des sujets qui durant cette période de 6 semaines, évitent toute autre activité physiques qui n'est pas dans le programme.

La taille de l'échantillon est également une faiblesse dans cette étude. Sur les 20 participants au départ, seuls 16 ont pu terminer leur programme d'entraînement. Une étude de plus grande envergure permettrait d'affiner les mesures statistiques des résultats.

5 Conclusion

L'hypothèse de départ, qui soutenait un progrès dans la VMA du coureur s'entraînant avec le programme Myotest Run, un progrès réalisé principalement grâce à une amélioration des caractéristiques musculaires du coureur, n'est que partiellement vérifiée par cette étude. Certes les progrès dans la VMA des coureurs du groupe E sont nets, mais ils ne peuvent malheureusement pas être expliqués par une amélioration de leurs caractéristiques musculaires, par une optimisation de leur foulée. Les résultats des tests « Myocheck » sont hasardeux et de mon point de vue, difficilement utilisables. Les raisons de cet échec partiel sont nombreuses, imprécisions liées au protocole de test et au contrôle de celui-ci, fiabilité des mesures du « Myotest » discutables, aspects émotionnels et motivationnels des participants.

Pourtant, l'objectif premier de cette étude est atteint. Nous avons pu prouver qu'un entraînement de 6 semaines avec l'appareil commercialisé par la société valaisanne permet au coureur d'améliorer sa VMA, ce qui probablement influencera positivement ses performances en course de moyenne ou de longue distance. Ce programme d'entraînement s'est avéré d'une efficacité égale à un programme d'entraînement que l'on peut qualifier de « standard » dans ce domaine de l'endurance, et confirme donc les résultats obtenus par l'étude japonaise (Hasegawa et al. 2011).

Le sondage nous a permis de constater l'intérêt de la majorité des sujets du groupe E pour cet appareil et la satisfaction qu'ils ont eu à s'entraîner avec cet appareil. De plus, les participants ont pu tester de nouvelles méthodes d'entraînement en course à pied et ont donc pu compléter leurs connaissances gravitant autour du monde de l'endurance. D'une manière générale, les participants des deux groupes ont exprimé leur satisfaction à avoir participé à cette étude.

Les résultats de cette étude sont intéressants, mais ils sont limités par le nombre restreint de participants. Une étude de grande envergure, accompagnée de systèmes de mesures multiples, permettrait sans doute de déterminer plus précisément les raisons de ce progrès dans la VMA des coureurs. Afin de vérifier les valeurs du « Myocheck » ou tout simplement en substitution de celui-ci, un test sur une plateforme de force en

5. Conclusion

laboratoire, avec un protocole clair et précis, augmenterait sans doute la fiabilité des résultats et permettrait peut-être de vérifier complètement notre hypothèse de départ. Un test supplémentaire pour évaluer les progrès dans les performances en endurance des athlètes, de type « Cooper » ou alors de performance pure sur 5000 mètres, donnerait encore plus de crédit aux résultats. Ce genre d'étude nécessiterait évidemment des moyens et du temps supplémentaires.

Le « Myotest Run » semble être un outil efficace et utile pour le coureur à pied de niveau moyen. Personnellement, je pense que ce programme d'entraînement visant à améliorer nos caractéristiques musculaires serait encore plus efficace s'il était accompagné par quelques séances de cardio complémentaires. En effet, toutes les études ayant démontré les bénéfices de séances de force (HWT ou pliométrie), dans une préparation en endurance, sont couplées à un programme d'entraînement cardio traditionnel. La charge d'entraînement se verrait alors augmentée, mais les progrès du coureur seraient probablement décuplés. Ces hypothèses se basent sur différentes études pré-existantes mais restent, bien sûr, à prouver dans ce cas précis.

Arrivées sur le marché européen en 2008, les mesures de l'appareil « Myotest Run » sont encore en cours de validation. Le programme d'entraînement, basé essentiellement sur des exercices de renforcement musculaire et des méthodes fractionnées, semble, lui, efficace pour améliorer les performances en endurance de coureurs à pied de niveau moyen. Toutefois, il reste à savoir si les raisons de ce progrès tiennent à une éventuelle optimisation de la foulée du coureur.

6 Remerciements

Arrivé au terme de ce travail, je tiens à remercier les personnes qui, d'une manière ou d'une autre, m'ont aidé dans ce travail. Tout d'abord, je remercie chaleureusement mon co-conseiller, le professeur Alain Rouvenaz, qui fut présent lors des deux séances de test et qui m'a parfaitement dirigé et conseillé dans l'élaboration de cette étude, puis dans la rédaction du travail. Je remercie également le Dr. Wolfgang Taube, mon conseiller principal. Toujours dans un cadre universitaire, je me dois de remercier l'« Unité des Sciences du Mouvement et du Sport » de l'Université de Fribourg, qui m'a mis à disposition le matériel indispensable à la bonne réalisation de cette étude.

Un grand merci à la société « Myotest » de Sion, qui m'a prêté 3 appareils « Myotest Run » durant les 6 semaines prévues pour les entraînements.

Je remercie également toutes les personnes qui m'ont conseillé pour l'élaboration des deux plans d'entraînement. Je pense en particulier à Gérald Rumo, entraîneur « Swiss olympic », qui m'a accordé du temps pour m'expliquer les bases d'une bonne planification et d'un plan d'entraînement efficace.

Je remercie sincèrement tous les participants à cette étude, sans qui rien n'aurait été possible. Ils se sont tous impliqués sérieusement, en donnant de leur temps et de leur énergie, pour me permettre de mener à bien mon projet. Je les remercie pour leur engagement, leur disponibilité et tous leurs efforts accomplis durant ces 6 semaines d'entraînement. Un merci particulier au GPMF (groupe de préparation au Morat-Fribourg), dont la majeure partie des candidats fait partie.

Finalement, je tiens à remercier mes parents, Rose-Marie et Norbert Page, tous deux enseignants au primaire, qui m'ont permis de rendre un travail grammaticalement correct et exempt de toute faute d'orthographe, je l'espère.

7 Bibliographie

- **Ouvrages généraux**

Divert, Caroline (2005). *Thèse de doctorat: Influence du chaussage sur les caractéristiques mécaniques et le coût énergétique de la course à pied*. Université de Saint-Etienne, 189 p.

Dufour, Michel (2011). *La gazelle et l'athlète. Tome III : L'endurance*. Editions Volodalen, Chavéria, 205 p.

Grimshaw, Paul & Burden, Adrian (2010). *Biomécanique du sport et de l'exercice. Traduction de l'anglais par Simon Pradel*. Editions De Boeck Université, Paris, 452 p.

Hottenrott, Kuno & Neumann, Georg (2008). *Methodik des Ausdauertrainings*. Hofmann-Verlag, Schorndorf, 340 p.

Thibault, Guy (2011). *Sports d'endurance. Entraînement et performance*. Editions Amphora, Paris, 253 p.

Tschopp, Markus (2001). *Manuel de référence. Diagnostique de la performance en endurance*. Macolin, version 2.0, 44 p.

Wilmore, Jack H. & Costill, David L. (2002). *Physiologie du sport et de l'exercice. Adaptations physiologiques à l'exercice physique*. Traduction de la 2^{ème} édition. Editions De Boeck Université, Paris, 736 p.

Zintel, Fritz & Eisenhut, Andrea (2009). *Ausdauertraining*. BLV Buchverlag, München, 247 p.

- **Etudes scientifiques**

Concernant les bases théoriques de mon travail

Anderson, T. & Tseh, W. (1994). Running economy, anthropometric dimensions and kinematic variables. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 26(5), 170.

Anderson, T. (1996). Biomechanics and running economy. *Sports Medicine*, 22(2), 76-89.

Cavanagh, P. R., Pollock, M. L. & Landa, J. (1977). A biomechanical comparison of elite and good distance runners. *Ann N.Y. Academy of Science*, 301, 328-345.

Cavanagh, P. R. & Williams, K. R. (1982). The effect of stride length variation on oxygen uptake during distance running. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 14(1), 30-35.

Cavanagh, P. R. & Kram, R. (1985). Mechanical and muscular factors affecting the efficiency of human movement. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 17, 304-308.

7. Bibliographie

Chang, Y. H. & Kram, R. (1999). Metabolic cost of generating horizontal forces during human running. *Journal of Applied Physiology*, 86(5), 1657-1662.

Conley, D. L., Krahenbuhl, G. S., Burkett, L. N. & Lynn Millar, A. (1984). Following Steve Scott: Physiological Changes accompanying Training. *The Physician and Sportsmedicine*, 12, 103-106.

Di Prampero, P. E., Atchou, G., Brückner, J.-C. & Moia, C. (1986). The energetic of endurance training. *European Journal of applied physiology and occupational physiology*, 55(3), 259-266.

Dumke, C. L., Pfaffenroth, M., McBride, J. M. & McCauley G. O. (2010). Relationship between muscle strength, power and stiffness and running economy in trained male runners. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5, 249-261

Guglielmo, L. G., Greco, C. C. & Denadai, B. S. (2009). Effects of strength training on running economy. *International Journal of Sports Medicine*, 30(1), 27-32.

Hamner, S. R., Seth, A. & Delp, S. L. (2010). Muscle contributions to propulsion and support during running. *Journal of Biomechanics*, 43(14), 2709-2716.

Heise, G. D. & Martin, P. E. (2001). Are variations in running economy in humans associated with ground reaction force characteristics? *European Journal of Applied Physiology*, 84(5), 438-442.

Hickson, R. C., Dvorak, B. A., Gorostiaga, E. M., Kurowski, T. T. & Foster, C. (1998). Potential for strength and endurance training to amplify endurance performance. *Journal of Applied Physiology*, 65, 2285-2290.

Hill, A. V., Long, N. H. & Lupton, H. (1924). Muscular exercise, lactic acid and the supply and utilisation of oxygen. *The royal society*, 97, 155-176.

Hoff, J., Gran, A. & Helgerud, J. (2002). Maximal strength training improve aerobic endurance performance. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 12(5), 288-295.

Johnston, R. E., Quinn, T. J., Kertzer, R. & Vroman, N. B. (1997). Strength Training in female distance runners: Impact on running economy. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 11(4), 224-229.

Kyrolainen, H., Kivela, R., Koskinen, S., McBride, J. L., Andersen, T., Takala, S. S. & Komi, P. V. (2003). Interrelationships between muscle structure, muscle strength and running economy. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35, 45-49.

Marcinik, E. J., Potts, J., Schlabach, G., Will, S., Dawson, P. & Hurley, B. F. (1991). Effects of strength training on lactate threshold and endurance performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23, 739-743.

7. Bibliographie

McCarthy, J. P., Agre, J. C., Graf, B. K., Pozniak, M. A. & Vailas, A. C. (1995). Compatibility of adaptive responses with combining strength and endurance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27, 429-436.

McDougall, J. D., Sale, D. G., Moroz, J. R., Elder G. C., Sutton, J. R. & Howald, H. (1979). Mitochondrial volume density in human skeletal muscle following heavy resistance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 11, 164-166.

Millet, G. P., Jaouen B., Borrani, F. & Candau, R. (2002). Effects of concurrent endurance and strength training on running economy and VO₂ kinetics. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(8), 1351-1359.

Novacheck, T. F. (1998). The biomechanics of running. *Gait posture*, 7(1), 77-95.

Nummela, A., Keränen T. & Mikkelsen L. O. (2007). Factors related to top running speed and economy. *International Journal of Sports Medicine*, 28(8), 655-661.

Paavolainen, L., Häkkinen, K., Härmäläinen, I., Nummela, A. & Rusko H. (1999). Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *Journal of Applied Physiology*, 86(5), 1527-1533.

Paton, C. D. & Hopkins, W. G. (2004). Effects of high-intensity training on performance and physiology of endurance athletes. *Sportscience*, 8, 25-40.

Saunders, P. U., Pyne, D. B., Telford, R. D & Hawley, J. A. (2004). Factors affecting running economy in trained distance runners. *Sports Medicine*, 34(7), 465-485.

Saunders, P. U., Telford, R. D., Pyne, D. B., Peltola, E. M., Cunningham, R. B., Gore, C. J. & Hawley, J. A. (2006). Short-term plyometric training improves running economy in highly trained middle and long distance runners. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(4), 947-954.

Spurrs, R. W. (2003). The effect of plyometric training on 3-km running performance. *European Journal of Applied Physiology*, 89(1), 1-7.

Støren, O., Helgerud, J., Støa, E. M. & Hoff, J. (2008). Maximal strength training improves running economy in distance runners. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 40(6), 1087-1092.

Thomas, D. Q., Fernhall, B., Blanpied, P. (1995). Changes in running economy and mechanics during a 5 km run. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 9, 170-175.

Turner, A. M., Owings, M. & Schwane, J. A. (2003). Improvement in Running Economy After 6 weeks of Plyometric Training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17(1), 60-67.

Williams, K. R. & Cavanagh, P. R. (1987). Relationship between distance running mechanics, running economy and performance. *Journal of Applied Physiology*, 63(3), 1236-1245.

7. Bibliographie

Concernant l'appareil « Myotest Run »

Casartelli, N, Muller, R & Maffiuletti, N. A. (2010). Validity and reliability of the Myotest accelerometric system for the assessment of vertical jump height. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(11), 3186-3193.

Comstock, B. A., Solomon-Hill, G., Flanagan, S. D., Earp, J. E., Hui-Ying Luk, Dobbins, K. A., Dunn-Lewis, C., Fragala, M. S., Jen-Yu Ho., Thomas, G. A., Hatfield, D. L., Vingren, J. L., Denegar, C. R., Volek, J. S., Kupchak, B. R., Maresh, C. M. & Kraemer, W. (2010). Construct validity of the Myotest in measuring force and power production. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(1), 2293-2297.

Crewther, B. T., Kilduff, L. P., Cunningham, D. J., Cook, C., Owen, N. & Yang, G. Z. (2011). Validating two systems for estimating force and power. *International Journal of Sports Medicine*, 32, 254-258.

Hasegawa, H., Yamauchi, T., Kawasaki, T., Adachi, T. & Yamashita, M. (2011). Effets on plyometric training using a portable self-coaching system on running performance and biomechanical variables in jump exercises. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(1), 110-111.

Houel, N., Dinu, D., Faury, A. & Seyfried, D. (2011). Accuracy and reliability of the Myotest Pro system to evaluate a squat jump. *Procedia Engineering*, 13, 434-438.

• **Références électroniques**

Biomécanique de la foulée en course à pied. Consulté le 10 avril 2012. Disponible sur : <http://www.volodalen.com/14biomecanique/lafoulee20.htm>

Quelles sont les valeurs mesurées par le Myotest Run ? Consulté le 18 avril 2012. Disponible sur : http://www.myotest.com/index.php?option=com_content&view=article&id=59&Itemid=133&lang=fr

Matériel d'expertise. Consulté le 15 avril 2012. Disponible sur : <http://www.perfinsport.fr/accueil/index.php/fr/notre-materiel>

Myotest Pro. Consulté le 18 avril 2012. Disponible sur : http://www.myotest.com/2011_french/2011_pages_pro/index.html

Myotest Run – Le Myocheck. Clip vidéo réalisé par la société « Myotest ». Consulté le 19 avril 2012. Disponible sur : <http://www.youtube.com/watch?v=5lg7JXblsYA>

8 Table des illustrations

Figure 1 : Indice d'endurance. Graphique disponible sur : http://sportech.online.fr/sptc_idx.php?pge=spfr_anp.html	9
Figure 2 : La foulée. Illustration disponible sur : http://www.volodalen.com/14biomecanique/lafoulee20.htm	12
Figure 3 : Variation des phases de la foulée suivant la vitesse de course. Graphique tiré de : Novacheck (1998)	12
Figure 4 : La poulaine du coureur. Illustration disponible sur : http://www.volodalen.com/14biomecanique/lafoulee21.htm	13
Figure 5 : Activité musculaire lors de la course à pied. Graphique tiré de : Novacheck (1998)	15
Figure 6 : Le « Myotest Run ». Illustration tirée disponible sur : http://www.perfinsport.fr/accueil/index.php/fr/notre-materiel	27
Figure 7 : Mesures de 5 sauts pliométriques. Graphique tiré du logiciel "Myotest Pro" ..	29
Figure 8 : Mesures sur un saut pliométrique isolé. Graphique tiré d'un travail de deux étudiantes de l'Université de Fribourg (2010)	30
Figure 9 : Concept du programme d'entraînement « Myotest Run ». Illustration disponible sur : http://www.perfinsport.fr/accueil/index.php/fr/notre-materiel .	32
Figure 10 : Evolution de la VMA des sujets des groupes E et C.....	46
Figure 11 : Evolution des caractéristiques musculaires d'un sujet du groupe E	47
Figure 12 : Evolution moyenne (en %) des caractéristiques musculaires des sujets du groupe C et E	48
Figure 13 : Résultats sondage des groupes C et E.....	49
Figure 14 : Résultats sondage du groupe E	50
Tableau 1 : Facteurs qui influencent la Cr du coureur. Tableau tiré de Saunders et al. (2004)	18
Tableau 2 : Zones d'entraînement. Tableau tiré d'un programme informatique	39
Tableau 3 : Temps de passage pour une VMA donnée. Tableau tiré d'un programme informatique.....	40

8. Table des illustrations

Tableau 4 : Périodisation de l'entraînement du groupe C.....	41
Tableau 5 : Périodisation de l'entraînement du groupe E	43
Tableau 6 : Comparaison entre le protocole de test utilisé et un protocole "idéal"	54

9. Déclaration personnelle

9 Déclaration personnelle

« Je sous-signé certifie avoir réalisé le présent travail de façon autonome, sans aide illicite quelconque. Tout élément emprunté littéralement ou mutatis mutandis à des publications ou à des sources inconnues, a été rendu reconnaissable comme tel. »

Fribourg, le 5 juillet 2012

10 Droits d'auteur

« Je sous-signé reconnait que le présent travail est une partie constituante de la formation en Sciences du Mouvement et du Sport à l'Université de Fribourg. Je m'engage donc à céder entièrement les droits d'auteur – y compris les droits de publication et autres droits liés à des fins commerciales ou bénévoles – à l'Université de Fribourg.

La cession à tiers des droits d'auteur par l'Université est soumise à l'accord du sous-signé uniquement.

Cet accord ne peut faire l'objet d'aucune rétribution financière. »

Fribourg, le 5 juillet 2012

11 Annexes

Table des annexes

Annexe 1 : Journal d'entraînement

Annexe 2 : Echelle de Borg

Annexe 3 : Programme entraînement du groupe contrôle

Annexe 4 : Circuit training 1

Annexe 5 : Circuit training 2

Annexe 6 : Programme entraînement du groupe expérimental

Annexe 7 : Questionnaire initial

Annexe 8 : Courbes représentant l'évolution des caractéristiques musculaires des sujets du groupe expérimental

Annexe 9 : Sondage final

11. Annexes

Annexe 1

Journal d'entraînement

Semaine 1						
Lundi soir : 18h30 St-Léonard	Mardi soir	Mercredi soir	Jeudi soir	Vendredi soir	Samedi soir	Dimanche matin
Borg:		Borg:		Borg:		
Semaine 2						
Lundi soir	Mardi soir	Mercredi soir	Jeudi soir	Vendredi soir	Samedi soir	Dimanche matin
Borg:		Borg:		Borg:		
Semaine 3						
Lundi soir	Mardi soir	Mercredi soir	Jeudi soir	Vendredi soir	Samedi soir	Dimanche matin
Borg:		Borg:		Borg:		
Semaine 4						
Lundi soir	Mardi soir	Mercredi soir	Jeudi soir	Vendredi soir	Samedi soir	Dimanche matin
Borg:		Borg:		Borg:		
Semaine 5						
Lundi soir	Mardi soir	Mercredi soir	Jeudi soir	Vendredi soir	Samedi soir	Dimanche matin
Borg:		Borg:		Borg:		
Semaine 6						
Lundi soir	Mardi soir	Mercredi soir	Jeudi soir	Vendredi soir	Samedi soir	Dimanche matin
Borg:		Borg:		Borg:		

--> Notez svp tous les changements, modifications et/ou les ajustements par rapport à votre plan d'entraînement initial.
--> Évaluez le ressenti de votre effort grâce à l'échelle de Borg en annexe.

Annexe 2



Echelle de Borg

6	aucune sensation d'effort
7	
	extrêmement léger
8	
9	très léger
10	
11	léger
12	
13	un peu dur
14	
15	dur
16	
17	très dur
18	
19	extrêmement dur
20	effort maximal

© Gunnar Borg 1985

11. Annexes

Annexe 3

Semaine 1						
Lundi soir : 18h30 St-Léonard!	Mardi soir	Mercredi soir	Jeudi soir	Vendredi soir	Samedi soir	Dimanche matin
Tests initiaux: VMA et "Myocheck"		PPG - circuit training 1		C - 50' footing à 70-80% VMA		
Semaine 2						
Lundi soir	Mardi soir	Mercredi soir	Jeudi soir	Vendredi soir	Samedi soir	Dimanche matin
PPG - circuit training 1		C - 20' footing à 70% VMA + 25' à 80% VMA		C - 50' à 60' footing à 70-80% VMA		
Semaine 3						
Lundi soir	Mardi soir	Mercredi soir	Jeudi soir	Vendredi soir	Samedi soir	Dimanche matin
PPG - circuit training 2		S - 15' footing à 70% VMA + 12 *100m à 100% VMA (temps de pause égale au temps de course) + 10' footing à 70% VMA + stretching		C - 50' à 60' footing à 80% VMA		
Semaine 4						
Lundi soir	Mardi soir	Mercredi soir	Jeudi soir	Vendredi soir	Samedi soir	Dimanche matin
PPG - circuit training 2		S - 15' footing à 70% VMA + 15 *100m à 100% VMA (temps de pause égale au temps de course) + 10' footing à 70% VMA + stretching		C - 60' footing à 80% VMA		
Semaine 5						
Lundi soir	Mardi soir	Mercredi soir	Jeudi soir	Vendredi soir	Samedi soir	Dimanche matin
C - 25' footing à 70% VMA + 20' footing à 90% VMA		S - 15' footing à 70% VMA + 2 séries de 3 * 300m à 100% VMA (récupération : 30' entre les 300m et 4' entre les 2 séries) + 10' footing à 70% VMA + stretching		C - 60' footing à 80% VMA		
Semaine 6						
Lundi soir	Mardi soir	Mercredi soir	Jeudi soir	Vendredi soir	Samedi soir	Dimanche matin
C - 25' footing à 80% VMA + 20' à 90% VMA		S - 15' footing à 70% VMA + 2 séries de 3 * 300m à 100% VMA (récupération : 30' entre les 300m et 4' entre les 2 séries) + 10' footing à 70% VMA + stretching		C - 70' footing à 80% VMA		

Début des séances : **lundi 19 mars 2012, 18h30 St-Léonard**

Fin des séances : **lundi 30 avril 2012, 18h30 St-Léonard**

L'important dans ce planing est de s'entraîner 3 fois par semaine, environ 1h par séance. Le contenu des séances est fixe mais vous pouvez sans problème changer les jours d'entraînement si cela vous arrange.

Pour plus d'information et en cas d'intérêt de votre part, contactez-moi par e-mail (frederic.page@unifr.ch) ou par téléphone au **079/736.26.69**.

VMA=vitesse maximale aérobie
PPG=préparation physique générale (gainage, préparation musculaire, technique course)
C=continu
S=séries

Annexe 4

PPG : circuit trainig 1

1. Echauffement : 15' footing à 70% VMA

2. Circuit training : 45" de travail / 1 min de récupération active (footing lent) → 2 × **tout le circuit**



Gainage araignée

→ Renforcement général du tronc et des extrémités



Pas de l'oie

3×6 foulées (jambes tendues, tronc vertical)

→ Renforcement extrémités inférieures



Gainage

Lever alternativement pied gauche / droite

→ Renforcement général du tronc et des extrémités



Foulées bondissantes

3×6 foulées

→ Renforcement extrémités inférieures



Gainage « côté »

→ Renforcement général du tronc et des extrémités



Corde à sauter

→ Renforcement général du tronc et des extrémités /
coordination bras / jambes



Abdominaux

→ Renforcement ceinture abdominale



Pompes

→ Renforcement tronc et haut du corps

3. Cool-down : 10' footing à 60% VMA

Annexe 5

PPG : circuit training 2

1. Echauffement : 15' footing à 70% VMA

2. Circuit training : 45" de travail / 1 min de récupération active (footing lent) → 2 × tout le circuit



Fentes

6 foulées avec un temps d'arrêt à chaque pose de pied

→ Renforcement extrémités inférieures



Pas de l'oie

3×6 foulées (jambes tendues, tronc vertical)

→ Renforcement extrémités inférieures



Extension jambes

Se mettre sur la pointe des pieds et tenir quelques secondes avant de redescendre, sans poser le s talons.

→ Renforcement extrémités inférieures



Foulées bondissantes

3×6 foulées

→ Renforcement extrémités inférieures



Escaliers

Pieds joints, par 2 marches, amplitude du mouvement avec amortissement marqué

→ Renforcement extrémités inférieures



Corde à sauter

→ Renforcement général du tronc et des extrémités / coordination bras / jambes



Escaliers

Pieds joints, + 2 marches, - 1 marche, + 2 marches, ...

→ Renforcement extrémités inférieures



Escaliers

4 escaliers sur jambe gauche, 4 sur droite, ...

→ Renforcement extrémités inférieures

3. Cool-down : 10' footing à 60% VMA

11. Annexes

Annexe 6

Semaine 1						
Lundi soir : 18h30 St- Léonard	Mardi soir	Mercredi soir: 18h30 St- Léonard	Jeudi soir	Vendredi soir: 18h30 à St- Léonard	Samedi soir	Dimanche matin
Tests initiaux: VMA et Myocheck		D		PPG		
Semaine 2						
Lundi soir	Mardi soir	Mercredi soir	Jeudi soir	Vendredi soir	Samedi soir	Dimanche matin
PPG		D		PPG		
Semaine 3						
Lundi soir	Mardi soir	Mercredi soir	Jeudi soir	Vendredi soir	Samedi soir	Dimanche matin
D		INT		D		
Semaine 4						
Lundi soir	Mardi soir	Mercredi soir	Jeudi soir	Vendredi soir	Samedi soir	Dimanche matin
D		INT		D		
Semaine 5						
Lundi soir	Mardi soir	Mercredi soir	Jeudi soir	Vendredi soir	Samedi soir	Dimanche matin
INT		D		INT		
Semaine 6						
Lundi soir	Mardi soir	Mercredi soir	Jeudi soir	Vendredi soir	Samedi soir	Dimanche matin
INT		D		INT		

Début des séances : **lundi 19 mars 2012, 18h30 St-Léonard**

Fin des séances : **lundi 30 avril 2012, 18h30 St-Léonard**

- 8 appareils à disposition. 1ère semaine ensemble pour comprendre utilisation et fonctionnement de l'appareil. Ensuite, libre de gérer votre entraînement.

Pour plus d'information et en cas d'intérêt de votre part, contactez-moi par e-mail (frederic.page@unifr.ch) ou par téléphone au **079/736.26.69**.

PPG = Préparation physique générale (gainage, préparation musculaire, technique course)
 D = Développement (qualités de pieds, technique de course)
 INT = Intermittent (intégrer qualités de pieds acquises dans phase de développement dans notre entraînement en course à pied)

11. Annexes

Annexe 7

Nom/Prénom

Fribourg, 19.03.12

Mon niveau de course à pied

- Vous vous considérez comme un coureur à pied :
 - Débutant
 - Moyen ?
 - Chevronné ?
 - Expert ?

- Sur une échelle de 1 à 10, évaluez vos connaissances dans le domaine de la course à pied, de l'endurance (1 = aucune, 10 = très bonnes).

1	5	10
□	□	□
□	□	□
□	□	□
□	□	□
□	□	□
□	□	□
□	□	□
□	□	□
□	□	□

- Depuis combien d'années pratiquez-vous la course à pied ?
 - Je débute
 - 1-3 ans
 - 3-6 ans
 - 6-10 ans
 - Plus de 10 ans

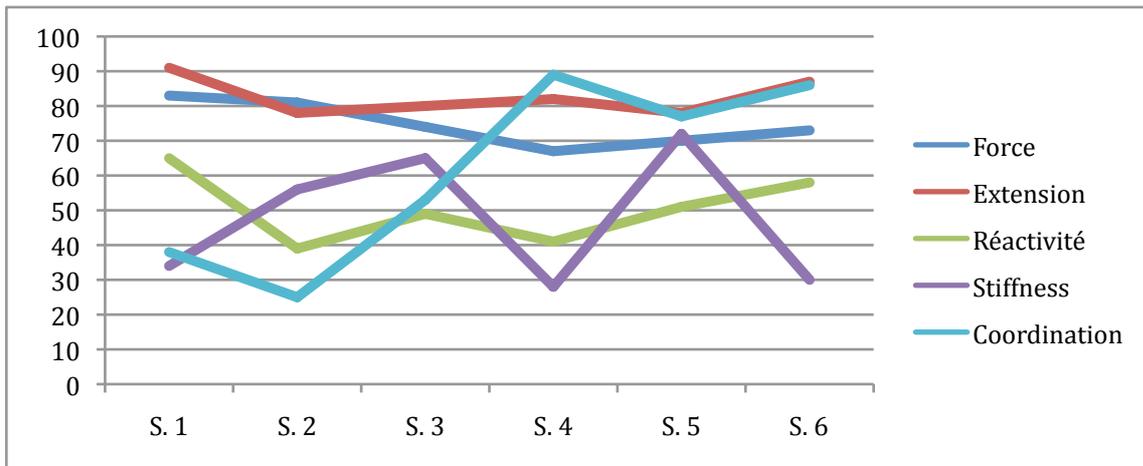
- Quel est approximativement votre charge d'entraînement pour la course à pied durant les mois de mars et avril ?
 - Je ne cours pas
 - 1-2 heures par semaine
 - 2-4 heures par semaine
 - 4-6 heures par semaine
 - Plus de 6h par semaine

- Dans quelle phase d'entraînement en course à pied vous situez-vous ?
 - Phase de reprise (je débute ou alors je reprends l'entraînement après une longue pause)
 - Phase de préparation physique générale
 - Phase de pré-compétition
 - Phase de compétition

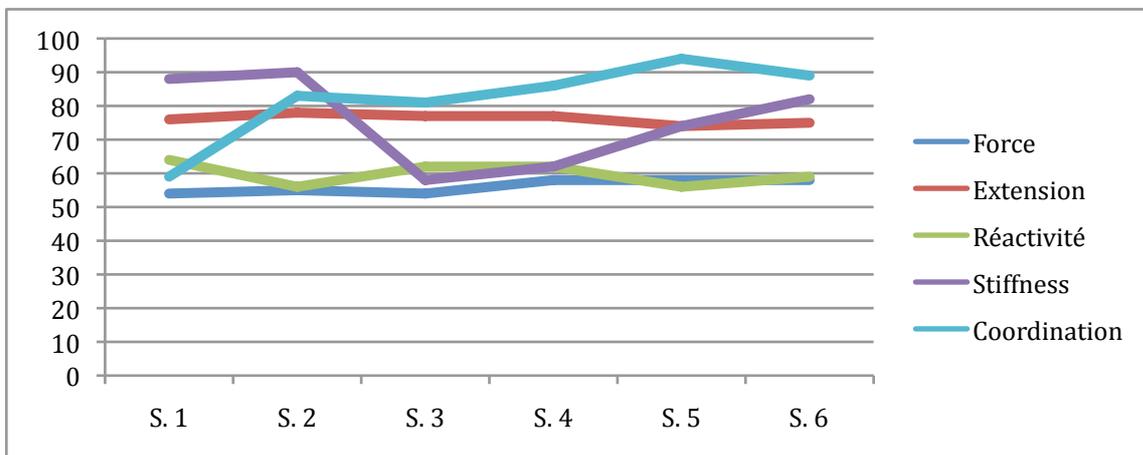
- Est-ce que la course à pied est votre sport principal ?
 - oui
 - non

11. Annexes

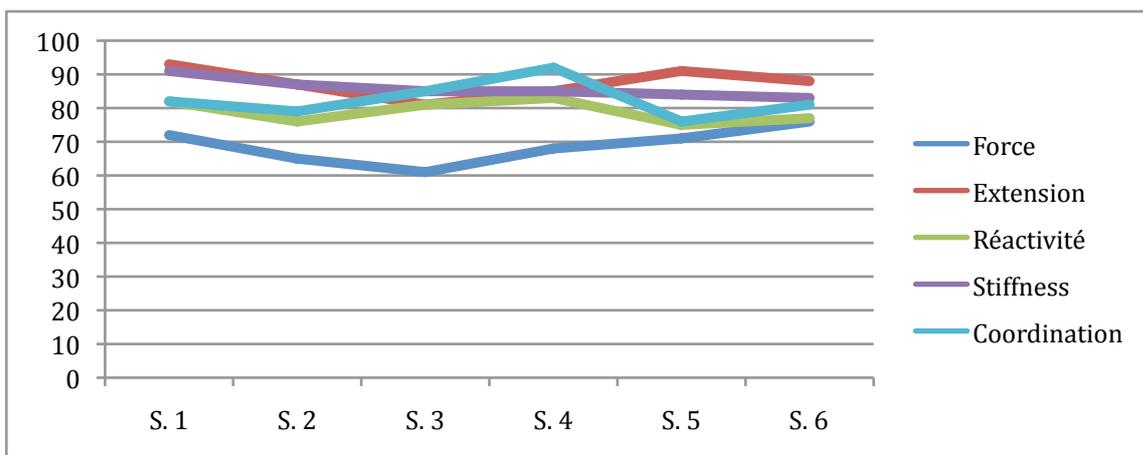
Annexe 8



M. Bongard

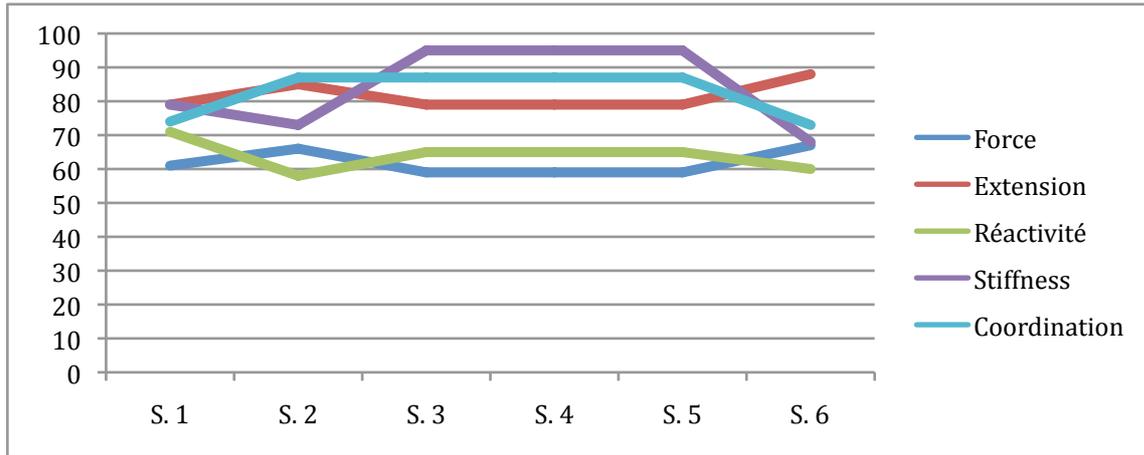


L. Herrera

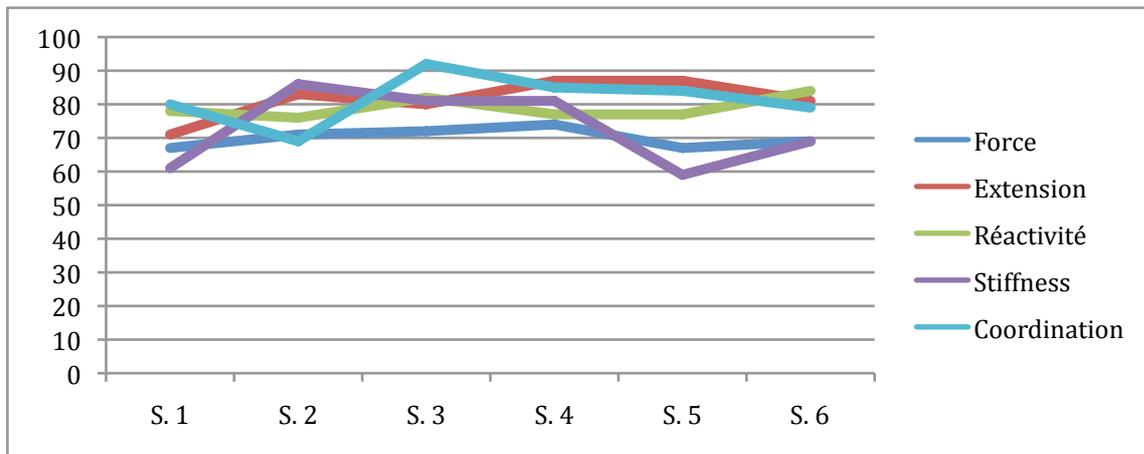


S. Laubscher

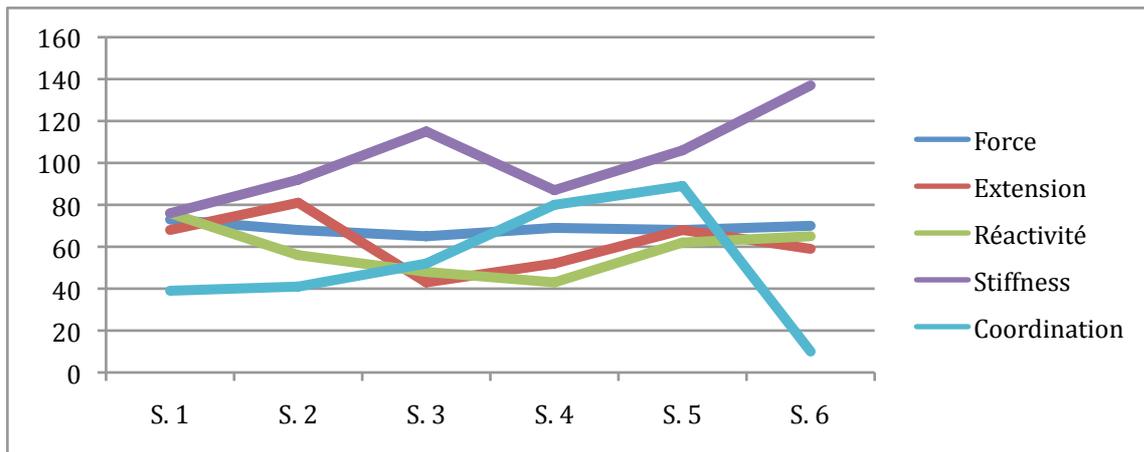
11. Annexes



P. Bourquin



A. Geinoz



J. Klauembesch

11. Annexes

Annexe 9

Nom, prénom :

Fribourg, le 30.04.12

Sondage pour candidats

1. J'ai participé à l'étude dans le groupe :

- « témoin »
 « myotest »

2. L'organisation générale de l'étude était (1=insuffisante, 10=excellente) :

1 5 10
□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □

3. Les informations liées au déroulement de l'étude étaient (1=insuffisantes, 10=excellentes) :

1 5 10
□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □

4. Le plan d'entraînement proposé était adapté à mon niveau de course à pied (1=pas du tout, 10=tout à fait) :

1 5 10
□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □

5. Je pense avoir amélioré mes performances en endurance (1=pas du tout, 10=tout à fait):

1 5 10
□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □

6. Cette étude m'a permis d'approfondir mes connaissances dans le domaine de la course à pied (1=pas du tout, 10=tout à fait) :

1 5 10
□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □

11. Annexes

Pour le groupe « Myotest » :

7. Je pense avoir amélioré ma foulée grâce au programme « Myotest Run » (1=pas du tout, 10=tout à fait)

1 5 10
□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □

8. Je pense avoir amélioré mes performances en endurance grâce à cet appareil (1=pas du tout, 10=tout à fait)

1 5 10
□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □

9. J'ai trouvé l'appareil facile à utiliser (1=pas du tout, 10=tout à fait) :

1 5 10
□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □

10. Je considère l'appareil « Myotest Run » comme utile au coureur à pied (1=pas du tout, 10=tout à fait) :

1 5 10
□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □

11. J'ai apprécié m'entraîner avec cet appareil (1=pas du tout, 10=tout à fait)

1 5 10
□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □

12. J'ai apprécié la variation des exercices proposés par l'appareil (1=pas du tout, 10=tout à fait) :

1 5 10
□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □

13. Je recommanderais l'entraînement avec « Myotest Run » à mes ami(e)s (1=pas du tout, 10=tout à fait) :

1 5 10
□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □

14. Autres remarques :

.....
.....
.....