

**Effets de la fréquence de la foulée et du type de pose de pied
lors de la course à pied
sur la fracture de fatigue tibiale**

MARION BOISNEL

Étudiante HES – Filière Physiothérapie

PAULINE VAGLIO-AGNÈS

Étudiante HES – Filière Physiothérapie

Directeur de Travail de Bachelor : YVAN LEURIDAN

**TRAVAIL DE BACHELOR DÉPOSÉ ET SOUTENU A GENÈVE EN 2015 EN VUE DE
L'OBTENTION D'UN BACHELOR OF SCIENCE EN PHYSIOTHERAPIE**

RÉSUMÉ

Introduction : La course à pied a vu son nombre de pratiquants augmenter ces dernières années. De nombreuses questions tournent autour de ce sujet, autant sur les bénéfices que sur les risques que cette pratique peut engendrer.

Problématique : Évaluer si la fréquence de foulée et le type de pose de pied influencent le taux de charge verticale moyen et instantané.

Méthode : Nous avons consulté les bases de données Pubmed, Cinahl, The Cochrane Library, PEDro, Embase et Kinédoc. La stratégie de recherche utilisée a réuni des mots clés autour de trois axes : la course à pied, le taux de charge verticale, la fréquence de la foulée et/ou le type de pose de pied. Trois études transversales ont été retenues. Leur qualité a été évaluée avec l'échelle de Downs et Black (1998) modifiée par Schmid, Schweizer, Romkes, Lorenzetti et Brunner (2013).

Résultats : Les études retenues montrent une diminution du taux de charge verticale moyen et instantané lorsque la fréquence de foulée augmente et que le pied attaque par l'avant mais pas de façon significative.

Conclusion : D'après notre revue de la littérature, une augmentation de la fréquence de la foulée et un changement de type de pose de pied vers une attaque avant-pied pourrait être bénéfique dans le but de diminuer le taux de charge verticale instantané et moyen et par syllogisme dans la prévention des fractures de fatigue tibiales. D'autres études seraient nécessaires pour vérifier cette tendance.

Mots clés : Course à pied, taux de charge verticale instantané et moyen, fréquence de foulée, type de pose de pied, fracture de fatigue tibiale.

AVERTISSEMENT

Les prises de position, la rédaction et les conclusions de ce travail n'engagent que la responsabilité de ses auteurs et en aucun cas celle de la Haute Ecole de Santé de Genève, du Jury ou du Directeur du Travail de Bachelor.

Nous attestons avoir réalisé seules le présent travail, sans avoir utilisé d'autres sources que celles indiquées dans la liste de références bibliographiques.

Genève, le 5 juin 2015

Mme Marion Boisnel

Mme Pauline Vaglio-Agnès

REMERCIEMENTS

Nous aimerions remercier les personnes suivantes pour leur contribution à la réalisation de ce travail :

M. Leuridan Yvan, enseignant en filière physiothérapie à la Haute Ecole de Santé Genève et directeur de notre Travail de Bachelor, qui nous a guidées tout au long de la construction de notre travail.

Mme Barras Virginie, bibliothécaire et documentaliste à la Haute Ecole de Santé Genève pour l'aide qu'elle nous a apportée lors de nos recherches et sa disponibilité.

Mme Bürge Elisabeth, directrice de la filière physiothérapie de la Haute Ecole de Santé Genève et enseignante, pour nous avoir aidées à débiter notre travail.

Mme Giandolini Marlène, physiologiste et chercheuse en activités physiques et sportives à l'Université de Savoie Chambéry, pour l'aide précieuse qu'elle nous a apportée.

Mme Perrier-Boisnel Françoise, M. Boisnel Jean, Mme Vaglio-Agnès Geneviève et M. Vaglio-Agnès Philippe pour la relecture, les corrections apportées à ce travail et leurs précieux conseils.

M. Pittet Vincent, chargé d'enseignement dans la filière de physiothérapie à la Haute Ecole de Santé Genève, qui nous a aiguillées sur le choix de l'échelle d'évaluation de la qualité de nos études.

TABLE DES MATIERES

1.	INTRODUCTION	1
2.	CADRE THEORIQUE	2
2.1.	LA COURSE A PIED ET LE TAUX DE CHARGE VERTICALE.....	2
2.1.1.	<i>La biomécanique de la course à pied</i>	<i>2</i>
2.1.1.1.	Le cycle de course	2
2.1.1.2.	La fréquence de la foulée et le type de pose de pied	4
2.1.2.	<i>Taux de charge verticale (moyen et instantané).....</i>	<i>6</i>
2.2.	LA FRACTURE DE FATIGUE ET LE TAUX DE CHARGE VERTICALE	7
2.2.1.	<i>Relation entre le taux de charge verticale et les fractures de fatigue tibiales</i>	<i>7</i>
2.2.2.	<i>Les fractures de fatigue</i>	<i>7</i>
2.2.2.1.	Définition.....	7
2.2.2.2.	Fractures de fatigue et course à pied	8
2.2.2.3.	Physiopathologie.....	8
2.2.3.	<i>Facteurs de risque</i>	<i>9</i>
3.	PROBLEMATIQUE	10
4.	METHODOLOGIE.....	11
4.1.	RECHERCHE D'ARTICLES	11
4.2.	SELECTION DES ARTICLES.....	12
4.2.1.	<i>Critères d'inclusion.....</i>	<i>13</i>
4.2.2.	<i>Critères d'exclusion</i>	<i>13</i>
4.3.	EVALUATION DE LA QUALITE DES ARTICLES.....	13
4.4.	EXTRACTION DES DONNÉES	14
5.	RESULTATS	15
5.1.	RESULTATS DE LA RECHERCHE D'ARTICLES.....	15
5.2.	RESULTATS DE L'EVALUATION DE LA QUALITE	16
5.2.1.	<i>Design et niveau de preuves.....</i>	<i>16</i>
5.2.2.	<i>Evaluation de la qualité</i>	<i>16</i>
5.3.	DESCRIPTION DES ARTICLES RETENUS	16
5.3.1.	<i>Description des populations</i>	<i>17</i>
5.3.2.	<i>Description des interventions</i>	<i>18</i>
5.3.3.	<i>Description des outcomes utilisés</i>	<i>20</i>
5.4.	RESULTATS DES OUTCOMES.....	20
5.4.1.	<i>Taux de charge verticale moyen.....</i>	<i>20</i>
5.4.2.	<i>Taux de charge verticale instantané.....</i>	<i>21</i>

6.	DISCUSSION	22
6.1.	INTERPRETATION DE LA QUALITE DES ARTICLES	22
6.2.	INTERPRETATIONS DES RESULTATS.....	24
6.2.1.	<i>Interprétation des résultats des études</i>	<i>24</i>
6.2.2.	<i>Interprétation des études par rapport à la problématique</i>	<i>26</i>
6.3.	BIAIS ET LIMITES DES ETUDES	26
6.3.1.	<i>Intra-études</i>	<i>26</i>
6.3.1.1.	<i>Populations</i>	<i>26</i>
6.3.1.2.	<i>Intervention.....</i>	<i>28</i>
6.3.2.	<i>Inter-études.....</i>	<i>29</i>
6.3.2.1.	<i>Population</i>	<i>29</i>
6.3.2.2.	<i>Intervention.....</i>	<i>29</i>
6.3.2.3.	<i>Mesure du taux de charge verticale instantané et moyen.....</i>	<i>30</i>
6.4.	LIMITES ET POINTS FORTS DE NOTRE REVUE DE LA LITTERATURE.....	30
6.5.	CONFRONTATION A LA LITTERATURE EXISTANTE	32
6.6.	PISTES FUTURES	33
6.7.	PERTINENCE POUR NOTRE PRATIQUE	34
7.	CONCLUSION	35
8.	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	VII
9.	LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX.....	XIV
10.	ANNEXES	XV
	LEXIQUE	XXXVI

1. INTRODUCTION

La course à pied connaît depuis quelques années un mouvement populaire. Le nombre de coureurs est en augmentation (Boyer, Bellaiche, Geffroy, Potet & Lechevalier, 2005 ; Novacheck, 1998) dû notamment à son accessibilité grandissante et aux bénéfices pour la santé qu'elle apporte (Milgrom, 2003). Aux Etats-Unis, le nombre de coureurs s'élevait à 35 millions en 2012, comptabilisant ainsi une augmentation de 10% par rapport à 2010 (Rothschild, 2012).

Les coureurs peuvent être amenés à présenter différentes blessures lors de leur pratique. Il faut savoir que sur une année, le risque de se blesser est de 50% chez le coureur expérimenté (Walter, Hart, McIntosh & Sutton, 1989) dont 9.1% de ces blessures sont des fractures de fatigue tibiales (Lopes, Hespanhol, Yeung & Costa, 2012). Les parties du corps les plus touchées par les blessures sportives sont : le genou (30%), le pied (30%), la jambe (20%), la région lombaire (10%), la cuisse (5%) et la hanche (5%) (Bompard, 2012, p.96). Selon Walter et al. (1989), plus le kilométrage est important (>64.374km/semaine) plus le risque de blessures est élevé, c'est pour cette raison que l'on retrouve plus de blessures chez les personnes pratiquant la course à pied en compétition que chez celles la pratiquant simplement pour le plaisir.

De nombreuses recherches, comme par exemple celles de Milner, Davis et Hamill (2006a), de Zifchock, Davis et Hamill (2006) et de Zadpoor et Nikooyan (2011) ont réussi à prouver qu'une augmentation du taux de charge verticale provoque une hausse du nombre des fractures de fatigue tibiales. De plus, il existe des études qui s'intéressent au lien entre le taux de charge verticale et la manière de courir.

Il ne faut pas pour autant mettre de côté l'activité physique car cette dernière est bénéfique pour la santé (Rochcongar, 2007). Selon Edouard Cohen « Rien ne vaut la santé, rien ne vaut le sport ! Allier les deux reste le meilleur moyen de garder une vie saine, d'éviter des problèmes de sédentarité, de surpoids, les problèmes cardiaques, permet de mieux vivre et mieux vieillir » (Bompard, 2012, p.3). Pour Blaise Dubois (2010), la course à pied diminue de 60% les risques de développer une maladie (cancer, diabète, maladie cardiaque, etc.).

Nous avons pour objectif de faire un état des lieux de la littérature, sur le lien qui pourrait exister entre la course à pied (fréquence de foulée et type de pose de pied) et le taux de charge verticale (moyen et instantané), afin de pouvoir établir dans un second

temps un lien par syllogisme entre la course à pied et les fractures de fatigue tibiales. Nous espérons ainsi pouvoir informer nos futurs patients sur la prévention de cette blessure.

2. CADRE THEORIQUE

2.1. La course à pied et le taux de charge verticale

La course à pied est un moyen qui permet de se déplacer plus rapidement que la marche car c'est une succession d'appuis alternatifs plus rapides que lors de la marche. Elle est beaucoup utilisée dans les pays en voie de développement car les populations ont moins de moyens de transport que dans les pays développés. Historiquement, la position du corps du genre Homo a évolué au cours des millions d'années afin d'utiliser la course à pied comme un moyen de survie (Murphy, Curry & Matzkin, 2013).

2.1.1. La biomécanique de la course à pied

2.1.1.1. Le cycle de course

Il existe des différences biomécaniques entre la marche et la course. Dans un premier temps, les phases bipodales de la marche se transforment par la dynamique et la vitesse de la course en phase unipodale ; dans un second temps, la phase oscillante de la course dite de « suspension » augmente son pourcentage par rapport à la phase d'appui et l'appui avec le sol disparaît.

En effet, selon Ziltener (2011), le pourcentage de la phase d'appui se rapporte à 40 % du cycle de course (contre 65 % à la marche) ainsi la phase de suspension est plus longue du fait de l'absence de moment bipodal ; cette dernière représente 60 % lors de la course (contre 35 % à la marche).

Le cycle de course commence lors de l'appui au sol d'un pied et se termine par son retour au sol, il est donc composé de deux foulées successives. Il peut être caractérisé par la longueur des foulées (amplitude) et leur durée qui vont donner un nombre de répétitions en fonction d'un rapport temporel.

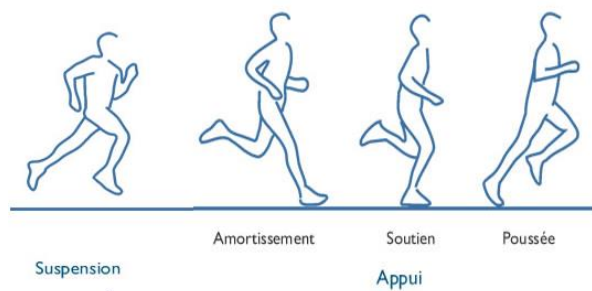


Figure 1 : Les différentes phases de la course
Modifié et tiré de Volodalen, 2015

Comme mentionné précédemment, ce cycle se décompose en deux phases (appui et suspension) à l'intérieur desquelles quatre parties sont décrites (**Figure 1**). Nous considérons aussi l'ordre des phases en fonction de l'importance de l'influence qu'elles ont l'une par rapport à l'autre ; ainsi la

phase de suspension, comme nous le verrons plus tard, précède celle de l'appui car c'est elle qui va lui donner ses caractéristiques.

La phase de suspension commence lorsque le pied quitte le sol et se termine lorsque l'autre pied reprend contact avec le terrain ; elle est en moyenne de 150 m/s et se caractérise par une absence de contact au sol. Selon l'œuvre de Brigaud (2013), lors de cette phase, l'articulation de la hanche est d'abord en extension puis amorce la flexion lors du passage du centre de gravité à la verticale ; le genou se fléchit au départ puis se tend pour préparer la phase suivante et la cheville est en flexion dorsale. L'organisation des segments de la jambe lors de cette phase est importante car elle détermine sa disposition lors de l'appui et par cela le chemin des forces de réaction du sol qui parcourent le corps. La hanche, par le degré d'abduction/adduction et de rotation, détermine l'écartement des pieds, l'inclinaison du tibia et la forme de l'appui du pied. La rotation du genou avec la sous-talienne établit l'éversion/inversion du pied et pour finir la cheville dirige le degré de flexion/extension en fonction du type de pose de pied.

Par ailleurs, la phase d'appui est en moyenne de 200 m/s et se décompose en trois parties : l'amortissement, le soutien et le renvoi ou poussée. Lors de l'amorti, la hanche est fléchie et en rotation interne. Le genou se retrouve en extension et rotation externe et la cheville est plus ou moins fléchie selon le type de pose de pied du coureur. A noter aussi, que le tronc est incliné et le bassin antéversé du côté appuyé. Le soutien a pour but le redressement et la stabilité, le genou se fléchit et la cheville est en position neutre. Enfin, la partie de renvoi/ poussée se veut orientée vers l'avant, le bassin et le tronc sont inclinés antérieurement tout comme le centre de gravité. La hanche est tendue et en rotation interne, le genou quant à lui est en extension, la cheville est en flexion plantaire et l'avant-pied en pronation. Lors de l'appui, le but sera ici non plus de gérer la

disposition des segments mais de maintenir celle-ci grâce à une chaîne musculaire dite « stabilisatrice » et ainsi lutter contre les contraintes verticales qui apparaissent.

En outre, la fatigue joue un rôle dans la biomécanique de la course par un raccourcissement de la distance de foulée et un alourdissement des appuis entraînant une diminution de l'amortissement et une prolongation du contact au sol (Brigaud, 2013).

2.1.1.2. La fréquence de la foulée et le type de pose de pied

La fréquence de foulée correspond au rapport du nombre de foulées en fonction d'un temps donné, elle se calcule en général en Hertz (nombre de foulées par seconde).

L'étude de Cavanagh et Kram de 1989 démontre que la fréquence augmente ainsi que la longueur de la foulée lorsque la vitesse est plus rapide. Cependant, le coureur adapte, en premier lieu, la longueur de sa foulée puis, dans un deuxième temps, sa fréquence.

Par ailleurs, il existe trois types de pose de pied chez les coureurs : l'attaque talon, l'attaque à plat et l'attaque avant-pied (**Figure 2**).



Figure 2 : Types de pose de pied
Tiré de Giandolini, 2014b

L'attaque talon ou « rearfoot strike » (RF) met en jeu le talon comme première surface d'appui, l'angle du pied avec le sol est alors supérieur à 8° ; elle est adoptée par près de 70% de la population des coureurs au niveau mondial. Ce chiffre semble être lié à l'évolution du chaussage qui propose des

amortissements postérieurs de plus en plus imposants et tendrait ainsi à favoriser le coureur à poser son pied en premier lieu à l'arrière.

L'attaque à plat ou « midfoot strike » (MF), quant à elle, fait intervenir le talon et les métatarses simultanément lors de l'appui. Beaucoup plus minoritaire, on la retrouve chez seulement 23% des coureurs.

Lors de l'attaque avant-pied ou « forefoot strike » (FFS), présente chez seulement 7 % des coureurs, ce sont les métatarses qui se posent au sol en premier lieu (Giandolini et al., 2014a).

Nous ne parlerons pas dans ce travail d'un type de pose très minoritaire, présent uniquement chez les sprinters, avec une attaque par la pointe du pied appelée « toe strike ».

D'autre part, étant donné la répartition inégalitaire des différentes catégories de pose de pied chez les coureurs, il est plus courant de fusionner les deux attaques antérieures, avant-pied et à plat en une seule nommée « non-attaque du talon » (MFF).

Cependant, selon la discipline de course pratiquée par le sportif, ces pourcentages varient considérablement. Par exemple, dans l'athlétisme (800m et 1500m) il a été relevé que 27% des coureurs étaient RF, 42% MF et 31% FFS, contrairement aux marathoniens qui utilisent dans la majorité le type RF (90%) (Hayes & Caplan, 2012).

Par ailleurs, selon des études biomécaniques étudiant les contraintes de pression et de tension reçues lors de l'impact au sol, le type de pose de pied détermine l'endroit des contraintes et leur propagation sur des structures différentes des membres inférieurs (Cavanagh & Lafortune, 1980 ; De Wit, De Clercq & Aerts, 2000). Cela pourrait être dû aux différents muscles activés en fonction du type de pose de pied lors de l'appui au sol. Lors d'une pose MFF, la flexion plantaire est augmentée, le tibia est davantage aligné avec l'axe vertical et il y a une plus grande flexion de genou. Lorsque le pied vient se poser entièrement sur le sol, il se produit une activation rapide des fléchisseurs dorsaux de la cheville et des extenseurs du genou. Tandis que chez le coureur RF, lors de l'attaque, le genou est en extension, la cheville en flexion dorsale et le pied légèrement en inversion et en abduction, puis lorsque le pied vient se poser sur le sol, les fléchisseurs plantaires s'activent rapidement tout comme les fibulaires (Daoud et al., 2012).

En outre, il existe un lien entre le type de pose, la fréquence et la longueur de la foulée. La technique MFF provoque une diminution de la longueur de la foulée, du temps de contact et une augmentation de la fréquence de foulée par rapport au type RF (Giandolini, 2014b).

Enfin, le type de pattern peut se déterminer de différentes manières. Depuis l'étude de Cavanagh, Pollock et Landa (1977) présentant la détermination du type de pose de pied à l'œil nu, l'attribution du pattern a évolué avec la technologie. On peut noter l'utilisation d'un index par Altman et Davis (2012) utilisant des semelles biomécaniques afin de repérer le point d'impact. Quant à Lieberman et al., ils ont conclu dans leur

étude datant de 2010 que le pic passif, que nous décrirons plus tard, était absent chez les avant-pieds. De même que Larson en 2011 ainsi qu'Hayes et Caplan, en 2012, qui ont étudié les patterns avec des photographies prises à haute fréquence afin de repérer la zone de premier contact avec le sol.

2.1.2. Taux de charge verticale (moyen et instantané)

Durant la course, le coureur reçoit des forces verticales d'impact en moyenne égales à 2.7 fois le poids de son corps et durant essentiellement les 30 à 35 premières ms de contact avec le sol (Milner, Ferber, Pollard, Hamill & Davis, 2006b).

Pour expliquer la différence entre les variables présentées sur la **Figure 3**, nous allons prendre l'exemple du pied d'un coureur qui arrive au sol. La force de réaction du sol (vertical GRF) représente l'amplitude de force développée lors du choc, c'est-à-dire à quelle intensité le pied s'écrase contre le sol. L'ampleur de force d'impact ou pic

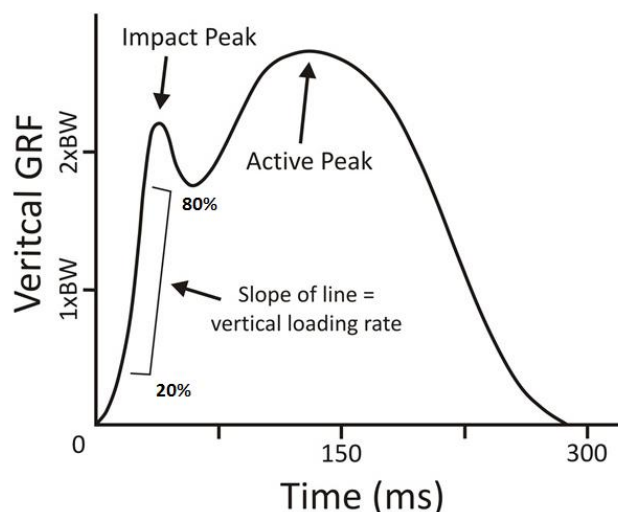


Figure 3 : Force de réaction du sol
Modifiée et tirée de: Cavanagh et Lafortune, 1980

d'impact (impact peak) représente la première valeur de charge rapidement affligée au pied avec une vitesse donnée (Gillet, 2000). Cette vitesse permet de calculer une pente d'augmentation de charge qui correspond à notre taux de charge verticale (vertical loading rate).

Cette variable est soit calculée avec des capteurs directement fixés sur le corps, soit incorporée à la chaussure du coureur ou encore à l'aide d'une

plateforme intégrée dans le tapis roulant ou à même le sol. Cet indicateur mesure la vitesse à laquelle la force d'impact a augmenté et, ainsi, l'importance de l'amortissement. Si le pied était plus amorti par un coussin, par exemple, cette valeur serait plus petite car la pente serait moins abrupte et les forces de charges auraient augmenté plus lentement. Par ailleurs, il y a plusieurs types de chocs dans le taux de charge. Selon Giandolini, il y a une forme active représentée par l'accélération volontaire du coureur lors de l'impact et une forme passive due aux chocs avec le sol qui émettent des vibrations jusqu'à la tête (communication [entretien], 2 avril 2015).

Selon Giandolini, le taux de charge verticale moyen correspond à la moyenne des taux de charge qui se situe entre 20 et 80% de la pente (communication [entretien], 2 avril 2015). Il est calculé en prenant les mesures des taux de charge faites pendant l'intervalle et en les divisant par le temps total de l'intervalle. Ce calcul nous amène à une valeur rapportée au « poids du corps » par seconde.

Le taux de charge instantané est, quant à lui, la valeur la plus élevée de charge atteinte lors de la période 20-80 % de la pente (Milner et al. 2006a).

Enfin, le pic actif (active peak) représente la propulsion des muscles actifs pour le rebond du corps en fin d'appui (Cavanagh & Lafortune, 1980). Comme le montre la **Figure 3**, le premier pic dit « d'impact » possède une valeur de 150 à 200% du poids du corps en général et le second pic dit « actif » a une valeur de 200 à 300% du poids du corps (Divert, Mornieux, Baur & Mayer, 2005).

2.2. La fracture de fatigue et le taux de charge verticale

2.2.1. Relation entre le taux de charge verticale et les fractures de fatigue tibiales

Nous avons choisi de présenter les forces d'impact car elles apparaissent comme les variables principalement impliquées dans les blessures du coureur. Cependant, nous avons décidé de ne pas inclure la force verticale de réaction du sol dans sa globalité suite à une revue de la littérature de Zadpoor et Nikooyan datant de 2011 qui fait apparaître cette variable non significative concernant les fractures de fatigue tibiales. Nous avons donc sélectionné seulement le taux de charge verticale, qui fait partie de la force de réaction du sol, car il est le facteur dépendant le plus lié aux fractures de fatigue tibiales (Davis, Milner & Hamill, 2004 ; Ferber, Davis, Hamill, Pollard & McKeown, 2002 ; Hreljac, Marshall & Hume, 2000 ; Milner et al., 2006a ; Zadpoor & Nikooyan, 2011 ; Zifchock et al., 2006). En ce qui concerne plus précisément les taux de charge verticale moyens et instantanés, ils ont été reconnus spécifiquement significatifs par Milner et al. (2006a) ainsi que par Zifchock et al. (2006).

2.2.2. Les fractures de fatigue

2.2.2.1. Définition

Selon Matheson et al. (1987), « la fracture de fatigue est une zone de fragilité focalisée survenant à l'occasion du remodelage osseux causé par la répétition de

stress subliminaux ». Les fractures de fatigue, aussi connues sous le nom de fractures de stress, sont des blessures spécifiques de la traumatologie du sport (Saillant, Rollant & Enkaoua, 1997, p.528). Il ne faut pas les confondre avec « des fractures traumatiques, des fractures pathologiques sur os tumoral ou infectieux, et des fractures par insuffisance de la masse osseuse (ostéoporose) » même si ce sont de véritables fractures osseuses (Chanussot & Danowski, 2012, p.362).

Ce sont des blessures de surutilisation fréquemment observées chez les athlètes, les recrues militaires et les danseurs de ballet (Aros, Spindler & Kaeding, 2010, p.455 ; Boden & Osbahr, 2000 ; Chanussot & Danowski, 2012).

2.2.2.2. Fractures de fatigue et course à pied

Les fractures de fatigue représentent 10% des lésions liées au sport pouvant survenir dans tous les os du corps mais on note une nette majorité dans les membres inférieurs de l'ordre de 95 % (Labareyre & Rodineau, 2000).

D'après la littérature, les pourcentages de fracture de fatigue, selon la localisation dans le membre inférieur, varient mais les auteurs sont tous d'accord sur le fait que le tibia est le site le plus touché dans la course à pied (entre 34% et 49%) (Bompard, 2012 ; Khazzam & Marberry, 2009, p.159 ; Matheson et al., 1987 ; McBryde, 1988 et Tauton, 2002) suivent ensuite les atteintes des métatarses pour 25%, les os du pied pour 7%, du calcaneum pour 2% et des sésamoïdes pour 1% (Bompard, 2012, p.96).

2.2.2.3. Physiopathologie

Il faut savoir que notre squelette est en perpétuel remaniement, on parle d'ostéogénèse. Deux cellules permettent cette ostéogénèse : les ostéoblastes (cellules de remodelage) et les ostéoclastes (cellules destructrices). Tous les os du squelette sont touchés par ce phénomène d'équilibre qui induit une diminution de l'os suivie d'une reconstruction. Si la capacité de reconstruction est inférieure à la destruction, il y a apparition de microfissures, c'est par exemple le cas lors de pratique intensive de sport ou dans le cas d'un temps de récupération inadéquat (Magness & Jatin, 2011).

Les fractures de contraintes surviennent à la suite de microtraumatismes et d'hyper sollicitations du système ostéo-articulaire. On distingue les fractures de fatigue et les fractures par insuffisance osseuse (FIO).

McBryde définit dans un article paru en 1988: « la fracture de fatigue est une fracture complète ou partielle d'un os, incapable de supporter des contraintes non-violentes, exercées de façon rythmée, répétée et avec une intensité inférieure au seuil de fracture ». La différence entre les deux pathologies est la qualité de l'os lors des microtraumatismes. Lors de fracture de fatigue, l'os est sain contrairement au FIO où il est déjà fragilisé par une pathologie sous-jacente (ostéoporose, ostéomalacie, diabète, maladie de Paget, etc.) (Soubrier et al., 2003). Concernant l'augmentation de contraintes, elle peut intervenir à plusieurs niveaux, notamment par le changement de la charge lié à l'activité. Par exemple, la course, comparativement à la marche, double la masse du corps (Labareyre & Rodineau, 2000) ; les contraintes en sont donc augmentées. Il faut également tenir compte de la majoration du nombre de contraintes liées au temps de l'activité sportive, à la distance parcourue ou à la diminution de la surface de contrainte.

2.2.3. Facteurs de risque

Les fractures de fatigue sont présentes chez tous les types de coureurs : autant les coureurs dits récréationnels, c'est-à-dire courant de façon régulière mais n'étant pas impliqués de manière intensive dans des compétitions, les amateurs semi-professionnels et enfin les professionnels pour qui la course est devenue un métier.

Il existe des facteurs extrinsèques à la survenue des fractures de fatigue tibiales liées par exemple à l'entraînement. Le surmenage comme l'a étudié Hansson en 1938, démontre une augmentation du nombre de fractures avec un seuil à 64 km par semaine de course à pied (Macera, 1989) et également l'augmentation de l'intensité des entraînements (Bompard, 2012). Le type de sport pratiqué a également une incidence sur l'apparition de la pathologie. La course à pied arrive très largement en tête et selon Bennell, Malcolm, Thomas, Wark et Brukner (1996) il existe un degré quantitatif « d'exposition au risque de fracture de fatigue » qui serait de 0.7 fracture pour 1000 heures de course. Le type de chaussures ne semble pas avoir d'incidence selon plusieurs études faites sur des coureurs (baskets) et des militaires (bottes) (Jones, Thacker, Gilchrist, Kimsey & Sosin, 2002) ; cependant l'usure avancée de la chaussure pourrait selon Labareyre et Rodineau (2000) être un facteur sans pour autant donner des valeurs précises. L'alimentation est aussi impliquée en tant que facteur de risque comme l'a étudié Duckham et al. en 2012, expliqué entre autre par l'assimilation de calcium ; cependant, seules les cas d'anorexie avec des carences graves seraient impliqués.

Concernant les facteurs intrinsèques propres à l'individu, on peut noter une forte recrudescence chez les femmes. Elle est liée à la longueur du pas plus courte qui augmente le nombre d'impacts au sol, au pelvis plus large, à l'alignement des membres inférieurs davantage en valgus ou varus et à des causes hormonales influençant la densité osseuse (Duckham et al., 2012). La race humaine blanche présente aussi un risque d'apparition de fracture avec une incidence très élevée, selon les études réalisées par rapport à des coureurs noirs ou hispaniques (Shaffer, Brodine, Almeida, Williams & Ronaghy, 1999). En 1987, Giladi et al. ont également trouvé une relation entre la fracture de fatigue et la diminution de la largeur du tibia, ce qui pourrait selon eux expliquer la localisation préférentielle au tiers moyen de la diaphyse, zone la plus étroite du tibia. De plus, l'état de fatigue lors de la reprise d'entraînement ou d'augmentation de l'intensité semble jouer un rôle dans le risque de fracture ; il serait lié au même mécanisme que le surmenage sportif vu précédemment (Bompard, 2012).

Un facteur non négligeable à prendre en considération pour le diagnostic différentiel est l'âge de la personne et par cela l'âge osseux. Selon Gardner et al. (1988), les recrues militaires de plus de 20 ans ont deux fois plus de risques de présenter des fractures de fatigue comparativement à des recrues de moins de 20 ans. L'un des facteurs de risques serait un âge supérieur à 20 ans selon cette étude. Néanmoins, ce chiffre est à considérer avec précaution étant donné que cette étude datant de 1988, a été réalisée en milieu militaire avec une forte majorité d'hommes et peu de personnes au-dessus de 40 ans. En outre, certaines études n'ont pas réussi à démontrer une incidence de l'âge (Corrarino, J., 2012). Par ailleurs, l'ostéoporose influence la survenue de fractures et peut majorer les risques de survenue de fractures de contrainte avec l'âge. Toutefois, grâce à un diagnostic médical fiable, on pourrait conclure à des fractures par insuffisance osseuse et non de fatigue sur un os sain.

3. PROBLEMATIQUE

En tant que thérapeute, il est difficile de savoir si le type de course (fréquence de foulée et type de pose de pied) peut influencer les risques de développer une fracture de fatigue. Au vu du nombre de coureurs qui augmente depuis ces dernières années, comme précisé dans l'introduction, il nous semble important de savoir si l'on peut conseiller nos patients sur le type de course à adopter afin d'éviter de se blesser. Notre travail s'inscrit dans une optique de prévention des risques de blessures de la course à

pied. Ces dernières années les chercheurs se sont intéressés au type de chaussage et à la bonne manière de courir, nous avons voulu faire des recherches dans le but de savoir s'il était important d'agir sur certains paramètres.

Les recherches initiales sur ce sujet nous ont permis de nous poser des questions sur les paramètres de course que l'on pouvait modifier en tant que physiothérapeute. Notre motivation réside dans l'absence d'étude portant sur ce sujet dans la littérature existante, à savoir le lien direct entre la fracture de fatigue tibiale et le type de course mais également par la découverte, durant cette dernière décennie, d'études démontrant un mésusage du GRF vertical.

Question de recherche : Quelle est l'influence de la fréquence de la foulée ainsi que du type de pose de pied sur le taux de charge verticale moyen et instantané dans le cadre des fracture de fatigue tibiales ?

Voici notre PICO modifié :

P = coureurs

I = mesure de la fréquence de foulée et du type de pose de pied

O = taux de charge verticale moyen et instantané

Notre premier objectif est d'analyser le lien entre le taux de charge verticale instantané et moyen avec une fréquence de foulée élevée ou un type de pose de pied spécifique chez le coureur.

Secondairement, nous aimerions identifier l'effet de la fréquence de la foulée et du type de pose de pied sur les fractures de fatigue tibiales.

4. METHODOLOGIE

Mise en place dès le début, afin de trouver et sélectionner les articles les plus pertinents en lien avec notre problématique, notre méthode de recherche ainsi que nos sélections d'articles et l'extraction de données sont expliquées ci-dessous.

4.1. Recherche d'articles

Dans un premier temps, nous avons défini les bases de données que nous voulions utiliser. Nous avons effectué nos recherches à travers *Medline via son moteur de*

recherche PubMed, Cinahl plus with Full Text, the Cochrane Library, Kinédoc, Embase ainsi que *PEDro* de façon à réunir un maximum de littérature sur le sujet.

Dans un second temps, nous avons construit les équations de recherche en fonction des bases de données [Annexe I p.XV]. Pour cela, nous avons défini les différents thésaurus pour chaque base de données retenue (MeSH HONselect pour Medline, Headings pour CINHAL et le thésaurus d'Embase). Nous avons construit nos recherches selon trois axes : la course à pied, la fréquence de la foulée et/ou le type de pose de pied et le taux de charge verticale.

Nous avons ajouté à ceux-ci nos mots clés non recensés dans les thésaurus, en veillant à ce qu'ils soient les mêmes pour chaque base de données afin de garder une homogénéité dans nos recherches.

Ensuite, nous avons relié tous les termes issus d'un même axe avec l'opérateur booléen « OR » afin d'élargir nos recherches. Ainsi, les mots axés autour de la course à pied ont été regroupés et il en a été de même pour la fréquence de la foulée/le type de pose de pied et le taux de charge verticale. Les trois parties de recherches ont été liées par l'opérateur booléen « AND ».

Nous avons utilisé la troncature « * » sur PEDro à la fin de chaque mot libre afin d'inclure les pluriels de ceux-ci.

Une fois les équations définies, nous avons ciblé notre recherche sur des études quantitatives et pour chaque base de données, des mises à jour ont été mises en place afin d'être informées lorsque de nouveaux articles paraissaient.

De plus, des recherches manuelles au sein de revues, de livres mais aussi au travers des bibliographies d'articles ont été utilisées pour la réalisation de notre travail.

La période de recherche de ce travail s'est étendue de septembre 2014 à mars 2015. Si un article plus récent venait à paraître dès lors il ne serait pas inclus dans ce présent travail mais discuté lors de la soutenance.

4.2. Selection des articles

Les études utilisées devaient être quantitatives afin de pouvoir mesurer nos résultats et les comparer. Nous avons décidé de ne pas cibler de types de design afin d'obtenir un maximum d'articles.

Puis, nous avons défini nos critères d'inclusion / d'exclusion afin de sélectionner nos articles.

4.2.1. Critères d'inclusion

Les premiers critères que nous avons établis pour la lecture des titres étaient : d'être rédigés en anglais, français ou espagnol, d'avoir l'abstract disponible sur internet, de traiter une pathologie liée au sport et aux membres inférieurs et d'intervenir sur la course à pied.

D'autres critères ont été établis lors de la lecture des abstracts comme la mesure du taux de charge verticale, une population adulte, la mention du type de pose de pied ou de la fréquence de foulée.

Enfin, lors de la lecture nous avons ciblé une population de moyenne d'âge entre 18 et 40 ans afin d'exclure les femmes ménopausées, les personnes âgées en lien avec la perte de densité osseuse et les enfants et adolescents dont la croissance osseuse ne serait pas terminée. Nous avons analysé la méthodologie afin d'inclure des articles où la population, les mesures prises et l'intervention étaient décrites ainsi que la mesure du taux de charge verticale faite en BW/s.

4.2.2. Critères d'exclusion

Nous ne voulions pas nous baser sur des études faites sur des animaux car, à nos yeux, les résultats ne sont pas forcément transposables à l'homme.

4.3. Evaluation de la qualité des articles

Afin de pouvoir modérer la valeur des résultats de nos études transversales, nous avons décidé d'en évaluer la qualité. Pour cela, nous avons utilisé la grille d'évaluation de Downs et Black (1998). Elle permet de mesurer la qualité d'études randomisées et non randomisées et possède une bonne fiabilité inter évaluateur ($r=0.75$), au test-retest ($r=0.88$) et une haute cohérence interne (Downs & Black, 1998). Cependant, pour pouvoir l'utiliser pour les études transversales que nous avons finalement sélectionnées, il a fallu utiliser une version modifiée car certains items présents dans l'échelle de base ne correspondaient pas à notre design d'étude. Nous nous sommes basées sur la revue de la littérature de Schmid et al. parue en 2013 qui ont adapté la grille de Downs et Black (1998) afin qu'elle soit utilisable pour des études non interventionnelles. 11 items ont

été retirés car ils ne convenaient pas au design non randomisé sans groupes établis et 1 item a été ajouté concernant la reproductibilité des mesures afin de nous donner un score maximal de 20 points. L'évaluation comporte plusieurs parties : reporting, validité externe, validité interne-biais, validité interne-confusion et pouvoir. Après s'être assurées de la bonne compréhension de tous les items par chacune, nous avons réalisé séparément l'évaluation de nos articles puis mis en commun les résultats que nous avons trouvés.

Nous avons également utilisé la checklist STROBE afin de savoir si l'article était complet et présenté de manière appropriée à son design. La grille Strobe ne permet pas une évaluation à proprement parlé de la qualité mais elle est reconnue internationalement pour les études de type transversal (Sharp, Poulaliou, Thompson, White & Wood, 2014).

En outre, la qualité des articles et leur utilité dans ce travail ont également été évaluées lors de l'extraction des données grâce à des items présents dans nos tableaux (limites, biais, points forts, éthique, etc.). En revanche, les deux grilles d'évaluation ne mentionnent pas la manière d'interpréter les scores ; nous nous sommes donc seulement basées sur les chiffres absolus. Il faut noter que la grille d'évaluation de Downs et Black (1998) modifiée par Schmid et al. (2013) et la checklist STROBE n'ont pas été utilisées pour la sélection des articles mais seulement pour évaluer leur qualité.

4.4. Extraction des données

Dans le but d'avoir une vision globale et synthétique mais aussi de faciliter l'analyse des articles retenus, nous avons élaboré une grille d'extraction de données avec les informations qui nous semblaient les plus pertinentes pour répondre à notre problématique de recherche. Dans un premier temps nous avons rempli une grille d'extraction pour chacun des articles retenus de manière individuelle, puis dans un second temps nous avons fait une mise en commun. Cette mise en commun nous a permis de nous concerter sur les différents questionnements que nous avions. La grille d'extraction de chaque article se trouve en annexe [Annexe II p.XVI].

Les informations retenues concernaient : le titre, les auteurs, le pays, les objectifs, les hypothèses, la population, les mesures relevées (outcomes), l'intervention, la conclusion et la discussion.

Une fois les données de chaque article collectées en fonction de notre grille d'extraction, nous avons regroupé les informations concernant la population et l'intervention dans un même tableau (**Tableau 2**). Le but étant de faire ressortir les ressemblances et les différences de chaque article de manière à faciliter la comparaison et de traiter de manière optimale les résultats.

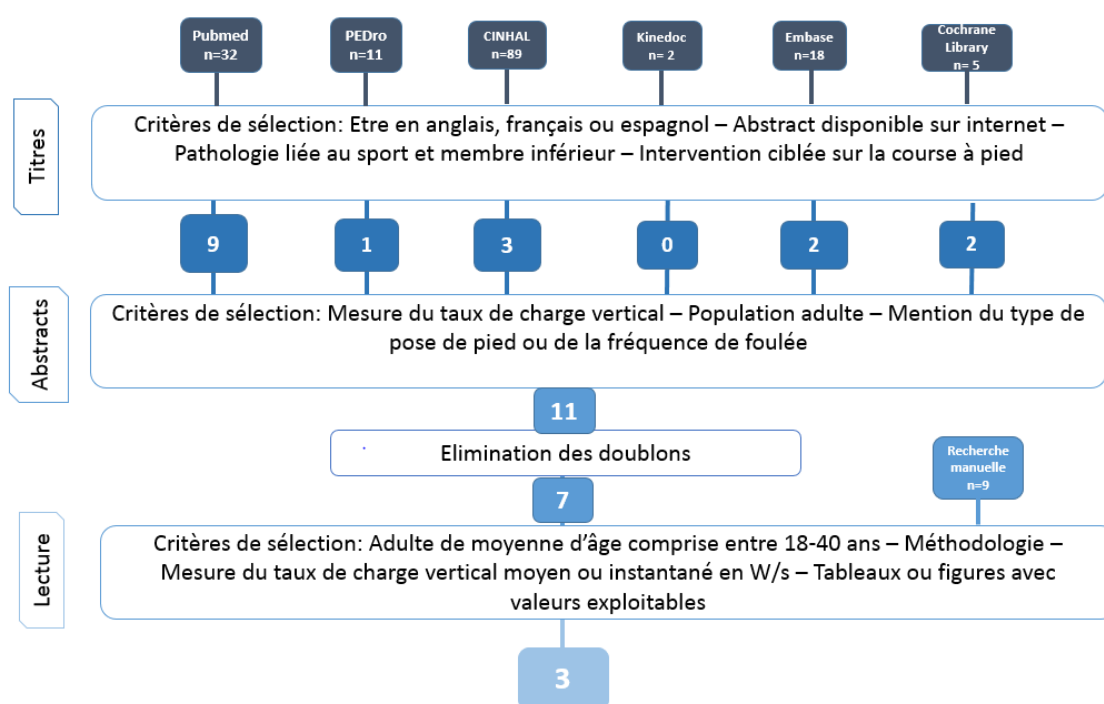
5. RESULTATS

Dans cette partie, nous traiterons des résultats obtenus suite à nos recherches d'articles ainsi que ceux des 3 articles retenus puis nous exposerons l'évaluation de la qualité que nous en avons faite.

5.1. Résultats de la recherche d'articles

Suite à nos recherches sur les différentes bases de données utilisées comme expliqué dans le chapitre 4.1, nous avons retenu trois études transversales [**Annexe III** p. XXV]. A chaque étape de nos recherches, nous avons fait attention de bien suivre les critères d'inclusion et d'exclusion (cf. chapitre 4.2.1 et 4.2.2) que nous nous étions fixés afin d'éliminer des articles. Les 3 études retenues proviennent pour deux d'entre elles de recherches sur les bases de données et pour une de la recherche manuelle (**Figure 4**).

Figure 4 : Recherche sur les bases de données



5.2. Résultats de l'évaluation de la qualité

5.2.1. Design et niveau de preuves

Notre sélection regroupe trois études observationnelles transversales (cross-over). Ce design correspond à un niveau d'évidence IV selon le tableau de hiérarchie de l'évidence issue du National Health and Medical Research Council (NHMRC, 2009).

5.2.2. Evaluation de la qualité

L'évaluation selon l'échelle de Downs et Black (1998) modifiée par Schmid et al. (2013) a été réalisée pour les articles [Annexe V p.XXX] ainsi que la checklist STROBE [Annexe VI p.XXXI] et les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 1 : Evaluation de la qualité des études

Etude	Score Schmid et al.	Score STROBE
Giandolini et al. (2013a)	12/20	15/22
Hobara et al. (2012)	8/20	12/22
Laughton et al. (2003)	14/20	16/22

Une analyse détaillée de l'attribution des points sera faite lors de la discussion.

5.3. Description des articles retenus

Nous avons regroupé l'ensemble des données de nos trois articles dans des tableaux d'extractions afin de simplifier notre recherche d'information lors de la rédaction [Annexe II p.XVI] et nous avons écrit un résumé pour chacun d'eux afin de faciliter la compréhension des articles pour les lecteurs [Annexe IV p.XXVI]. Le **Tableau 2**, présente les points importants que nous trouvions judicieux de mettre en avant par rapport à notre problématique concernant les caractéristiques de la population de chacune des études et leurs interventions.

Tableau 2 : Population et intervention des études retenues

Article	Population			Surface	Vitesse m. s ⁻¹	Intervention		
	Âge années	Masse kg	Sexe			Fréquence Hz	Type de pose de pied	Chaussures
Giandolini et al. 2013a France	20.8 ± 4.7	66.2 ± 10.1	6H et 3F	Tapis roulant	préférée	+10% de FP et FP	RF / MF	Kalenji : Kiprun 2000/ Inspid Comp
Hobara et al. 2012 Japon	28.8 ± 3.0	71.5 ± 9.3	10H	Tapis roulant	2.5	± 15 et 30% de FP et FP	⊗	⊗
Laughton et al. 2003 États-Unis	22.46 ± 4.0	66.41 ± 8.58	15H	⊗	3.7 ± 5%	⊗	RF / MF	Nike Air pegasus (Beaverton)

H : homme ; F : femme ; FP : Fréquence de foulée préférée ; RF : rearfoot ; MF : midfoot

En considérant les résumés présents en [Annexe IV page XXVI] ainsi que notre tableau ci-dessus, nous allons décrire plus en détails les populations, les interventions ainsi que les outcomes de nos études transversales.

5.3.1. Description des populations

Les trois études retenues ont des échantillons de petite taille, à savoir entre 9 et 15 coureurs. L'étude de Giandolini et al. (2013a) est la plus petite avec 9 coureurs dont 3 femmes, alors que celle de Laughton, Davis et Hamill (2003) en réunit 15. La moyenne du nombre de participants est de 11.3 personnes. Dans chacune des études, les participants réalisent la même intervention, cependant le protocole varie d'une étude à l'autre.

Afin de voir si nous pouvons faire une généralisation des résultats par rapport aux caractéristiques des populations nous allons les étudier un à un.

Âge : Les moyennes d'âges de nos études transversales sont proches les unes des autres ; à savoir 20.8 ± 4.7 ans pour l'étude de Giandolini et al. (2013a), 28.8 ± 3.0 ans pour celle d'Hobara, Sato, Sakaguchi, Sato et Nakazawa (2012) et 22.46 ± 4.0 ans pour celle de Laughton et al. (2003). La moyenne de ces études est donc de 23.89 ans.

Sexe : Les trois articles ont inclu principalement des hommes ; nous retrouvons des femmes seulement dans l'article de Giandolini et al. (2013a) dont le nombre s'élève à 3, ce qui représente un tiers de sa population.

Masse : La moyenne de la masse des populations de nos études est de 67.85kg. Deux des études ont une population avec une moyenne de masse très proche ; il s'agit de l'étude de Giandolini et al. (2013a) qui est de 66.2kg et Laughton et al. (2003) de

66.41kg. L'étude d'Hobara et al. (2012), quant à elle, se trouve avec une moyenne qui s'élève à 71.5kg.

Niveau d'activité : Les études d'Hobara et al. (2012) ainsi que celle de Giandolini et al. (2013a) précisent que les coureurs recrutés sont des coureurs récréationnels. De plus, dans l'article de Giandolini et al. (2013a) le nombre d'heures d'activités sportives est communiqué avec une moyenne de 10.3 ± 3.71 h/semaine incluant la course récréationnelle. Quant à Laughton et al. (2003) aucune indication n'est donnée sur la pratique de sport des coureurs sélectionnés.

5.3.2. Description des interventions

Deux de nos études ont été réalisées sur un tapis roulant. L'étude de Laughton et al. (2003) ne précise pas de manière explicite le type de sol sur lequel ont été réalisés les tests, nous savons seulement que les données concernant le GRF ont été recueillies par une plateforme (60x90cm) ; nous en avons donc déduit que les tests étaient réalisés à même le sol et non pas sur un tapis roulant comme nos deux autres études. Dans les études de Giandolini et al. (2013a) et d'Hobara et al. (2012) la plateforme était intégrée au tapis roulant.

Dans les trois études, nous retrouvons une séance d'essais pour que les coureurs puissent se familiariser avec les différents paramètres de course qui leur seront demandés (RF, MF, FFS, augmentation ou diminution de la vitesse ainsi que de la fréquence de foulée) ; cependant seule l'étude d'Hobara et al. (2012) a enchaîné les tests directement après la session d'essais. Giandolini et al. (2013a) ainsi que Laughton et al. (2003) ont, quant à eux, séparé la session d'essais de celle des tests de deux semaines. Dans le cas de l'étude américaine, ce temps de latence était utilisé pour que les sujets s'habituent au port d'orthèse, intervention que nous n'étudierons pas dans ce travail.

Les modalités de prises de mesures diffèrent d'une étude à l'autre mais dans chacune l'ordre de passage des différentes interventions a été établi de manière aléatoire afin d'éviter un effet mémoire.

Giandolini et al. (2013a) ont établi 5 interventions différentes : NORM (chaussures normales, fréquence de foulée préférée, pattern « attaque talon ») ; RACE (chaussures de courses plus fine, fréquence de foulée préférée, pattern « attaque talon ») ; FREQ (chaussures normales, fréquence de foulée augmenté de +10%, pattern « attaque

talon ») ; MIDFOOT (chaussures normales, fréquence de foulée préférée, pattern « attaque milieu du pied ») ; COMBI (chaussures de course plus fines, fréquence de foulée augmentée de +10% , pattern « attaque milieu du pied »). Lors des tests, les coureurs ont réalisé les différentes interventions avec un temps de repos de 2 minutes entre chaque essai et un retour aux conditions de base (fréquence de foulée préférée, vitesse de course préférée, chaussures de course habituelles du sujet) de 2 minutes afin d'éviter un effet mémoire des différentes conditions. Avant de commencer la prise de mesures, les auteurs ont demandé aux participants de s'échauffer sur le tapis roulant pendant 5 min à leur vitesse de course préférée, ce qui leur a permis de vérifier s'ils attaquaient bien avec le talon et quelle était leur fréquence de foulée préférée. De plus, pour les deux études, la fréquence de foulée, a été contrôlée à l'aide d'un métronome indiquant la cadence à suivre.

Hobara et al. (2012) ont demandé à leurs participants de courir sur un tapis roulant à différentes fréquences (+30%, +15%, +0%, -15% et -30% de la fréquence de foulée préférée) pendant 30 s pour pouvoir analyser les mesures de 10 foulées consécutives des deux jambes. Entre chaque course, il y avait 5min de repos.

Laughton et al. (2003) expliquent qu'ils ont réalisé 5 essais pour chacune des 4 conditions (attaque talon avec orthèse / sans orthèse ; attaque avant-pied avec orthèse / sans orthèse) mais nous n'avons aucune information sur la présence ou non d'un temps de récupération entre les essais et sur le temps d'essais lui-même.

Pour ce qui est du type de chaussures utilisées, les coureurs de l'étude française ont reçu deux paires de chaussures, une paire de Kalenji Kiprun 2000TM et une paire de Kalenji Inspid CompTM. Chaque paire avait une masse différente (360g pour la première contre 215g pour la seconde), une hauteur de semelle différente au niveau du talon (28.3 mm pour la première paire et 23.3 pour la deuxième) et des métatarses (20.2 mm pour le modèle Kiprun 2000TM et 12.5 pour l'Inspid CompTM) ainsi qu'une dureté de semelle différente ; le premier modèle est qualifié de standard et le second de course (RACE).

Les coureurs de l'étude américaine ont utilisé une seule paire de chaussures, la même pour tous, la Nike Air Pegasus dont les caractéristiques n'ont pas été mentionnées. Toutefois, après des recherches, nous avons trouvé les caractéristiques de la chaussure : poids 312g, différence talon-avant 10 mm (Site web Nike. Just Do It, 2015).

Dans l'étude japonaise, aucune information n'est communiquée par rapport au type de chaussures utilisées.

5.3.3. Description des outcomes utilisés

Dans les articles d'Hobara et al. (2012) et de Laughton et al. (2003), les recherches portaient entre autres sur le taux de charge verticale moyen et instantané. Le moyen était mesuré par rapport à la courbe de force verticale de réaction du sol en prenant les 20 à 80% de la pente et en mesurant la moyenne des valeurs de cet intervalle. L'instantané était déterminé en prenant la valeur maximale de ce même intervalle. Quant à l'étude de Giandolini et al. (2013a) et suite à un entretien que nous avons eu avec elle, il a été précisé que la mesure du taux de charge verticale moyen a été réalisée les 20 à 80 % de la pente en prenant des courts intervalles sur les 50 premières ms de l'impact. Cependant, les valeurs du taux de charge verticale instantané n'ont pas été répertoriées car l'auteur considère cette valeur comme non représentative de la pente du taux de charge verticale. Entre outre, les mesures ont été réalisées dans les articles avec une fréquence d'échantillonnage de 1000 Hz pour Giandolini et al. (2013a) et Hobara et al. (2012) et de 960 Hz pour Laughton et al. (2003), ce qui signifie que chaque seconde 1000 mesures ou 960 mesures ont été faites du taux de charge.

5.4. Résultats des outcomes

Les résultats des outcomes des 3 études sélectionnées sont présentés en annexe [**Annexe VII** p. XXXIII et **Annexe VIII** p. XXXV].

5.4.1. Taux de charge verticale moyen

Dans l'article de Giandolini et al. (2013a), il y a une baisse du taux de charge verticale moyen (TCVM) pour les quatre interventions comparées à la NORM. La valeur la plus basse est retrouvée dans l'essai COMBI. Cependant, seules les interventions MIDFOOT et COMBI présentent une baisse significative ($P < 0.05$).

Concernant l'article d'Hobara et al. (2012), l'augmentation de foulée diminue le TCVM jusqu'à une augmentation de +15 % de fréquence de foulée puis lors de l'essai à +30% le TCVM augmente. La valeur la plus basse du taux a donc été trouvée pour une fréquence de foulée de +18.07%. Les résultats montrent une baisse significative du TCVM dans les essais à 0%, +15% et +30% comparativement à la mesure à -30% ($P < 0.01$).

Dans l'article de Laughton et al. (2003), le pattern FFS (avant-pied) comporte des valeurs du TCVM plus basses que le pattern RFS (arrière-pied) mais pas de différence significative à noter ($p=0.19$).

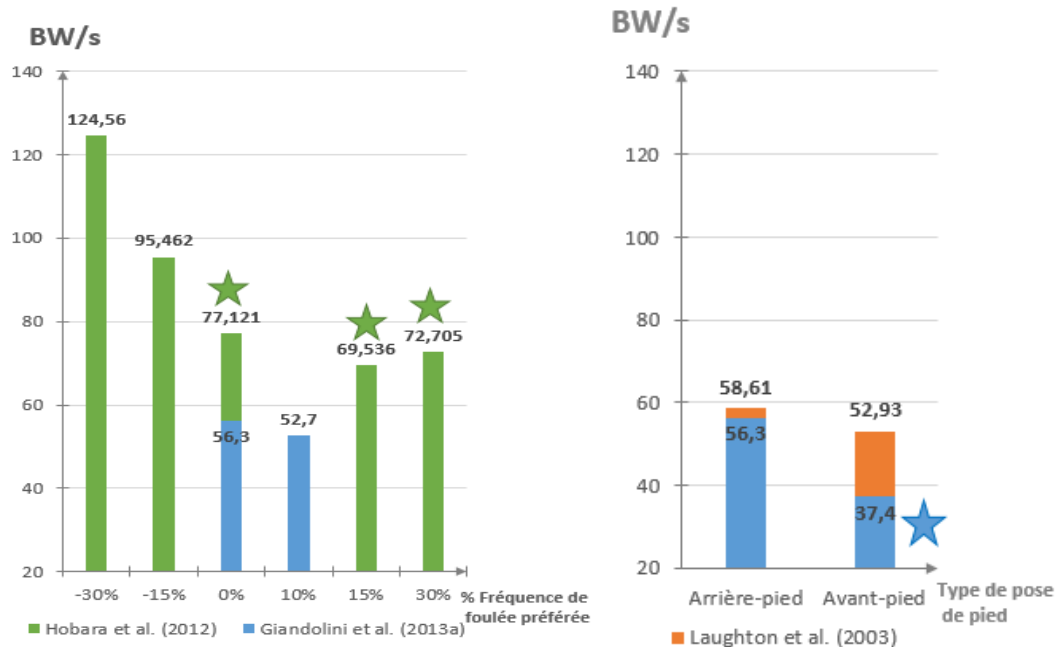


Figure 5 : Résultats du taux de charge verticale moyen

Les résultats significatifs sont présentés avec une étoile.

5.4.2. Taux de charge verticale instantané

Ce paragraphe ne concerne pas l'article de Giandolini et al. (2013a) car cette mesure n'a pas été comptabilisée dans l'étude. Dans l'article d'Hobara et al. (2012), les résultats concordent avec ceux du TCVM soit la constatation d'une baisse du taux de charge verticale instantané (TCVI) lors de la majoration de la fréquence de foulée puis à +30% on remarque qu'il augmente. Les résultats sont significativement différents pour les valeurs 0%, +15% et +30% ($P < 0.01$) comparés à la valeur du -30% de fréquence de foulée. La valeur la plus basse du taux a été trouvée pour une fréquence de foulée de +17,55% de la préférée.

Dans l'étude de Laughton et al. (2003), nous retrouvons un abaissement du TCVI pour le pattern RFS mais pas de différence significative avec le pattern FFS ($p = 0.84$).



Figure 6 : Résultats du taux de charge verticale instantané

Les résultats significatifs sont présentés avec une étoile.

6. DISCUSSION

6.1. Interprétation de la qualité des articles

L'interprétation de la qualité des articles a été réalisée grâce aux échelles de Downs et Black (1998) modifiées par Schmid et al. (2013) et STROBE ainsi qu'aux critères d'extraction des données. Elles nous ont permis de percevoir les résultats différemment en les nuancant en fonction de leur qualité.

Concernant l'échelle de Downs et Black (1998) modifiée par Schmid et al. (2013), on remarque une différence importante entre les scores de qualité des articles. Les articles de Giandolini et al. (2013a) et de Laughton et al. (2003) ont obtenu respectivement 12 items sur 20 et 14 items sur 20, l'étude japonaise a, quant à elle, comptabilisé seulement 8/20. Les items concernant la description des hypothèses, des mesures des outcomes, des caractéristiques de la population, du traitement des résultats et de la précision des mesures ont été remplis pour les trois articles. Les points pour le signalement de biais

pour la population ont été attribués à deux des études car nous avons relevé une description succincte de la population (pas de précisions sur les caractéristiques ou pathologies du sportif exclues, pas de détails sur leur niveau d'entraînement) dans l'étude d'Hobara et al. (2012) et dans l'étude de Giandolini et al. (2013a) aucune mention n'a été faite sur l'homogénéité de la population. Les items relatifs aux résultats ont été remplis par les études de Laughton et al. (2003) et de Giandolini et al. (2013a) en revanche, celle d'Hobara et al. (2012) ne présente pas de résultats chiffrés dans l'article et il faut les calculer avec une équation. Concernant la généralisation de l'échantillon, nous avons accordé les items à aucune étude, étant donné que, soit les échantillons comportaient seulement des hommes, soit représentaient seulement une partie de la population (étudiants en sciences du sport). Concernant la représentation de l'intervention dans la population, les items ont été attribués à l'article de Laughton et al. (2003) car seule cette étude a eu lieu dans une université et un hôpital. Enfin, la technique de prise de mesure a été jugée complète pour les trois études.

Concernant la checklist STROBE [Annexe VI p.XXXI], l'article de Giandolini et al. (2013a) a rempli 15 items sur 22. Parmi les informations manquantes, nous ne retrouvons pas la mention du design de l'étude dans le titre ou l'abstract, le lieu et la date des interventions de l'étude, la période de recrutement, le suivi entre les interventions, la méthode de sélection des participants, la validité externe de l'étude et l'utilisation d'un diagramme. Quant à l'article d'Hobara et al. (2012), il présente 12 items sur 22 préconisés par la grille. L'absence des données chiffrées, la méthode de l'étude de la population incluse, les limites de l'étude, la mention du design, l'endroit et la date de l'étude, le suivi et les informations sociales ne sont pas mentionnées. Enfin, l'article de Laughton et al. (2003) satisfait 16 points sur 22. Il manque la mention du type de l'étude, la période, l'endroit du recrutement, le processus d'inclusion de la population (flow diagramme), les méthodes de l'analyse statistique pour éviter les biais et les risques absolus et relatifs.

En résumé, les articles présentés dans ce travail comportent des négligences et des biais mis en évidence par les grilles d'évaluation et d'extraction. Les scores obtenus pour les trois études, surtout celle d'Hobara et al. (2012), montrent qu'il faut prendre les résultats avec précaution et recul. De plus, le design des études représente un faible niveau de preuves scientifiques. Au vu des scores similaires pour les études de

Giandolini et al. (2013a) et de Laughton et al. (2003) aucune étude ne peut être mise en avant quant à leur validité externe.

6.2. Interprétations des résultats

Dans ce chapitre, nous allons discuter des résultats obtenus dans les articles et l'interprétation que nous en faisons par rapport à notre problématique.

6.2.1. Interprétation des résultats des études

L'analyse des résultats présente dans l'article de Giandolini et al. (2013a) indique qu'il n'y a pas eu de changement significatif entre les interventions concernant la fréquence de foulée (FREQ et NORM) malgré la tendance à la diminution lors de l'augmentation de la fréquence de foulée. Par ailleurs, il y a une baisse significative des TCVM concernant le changement de pattern en avant-pied (MIDFOOT et NORM). Pour l'intervention combinée (COMBI) elle est significativement différente de la normale (NORM). De plus, les interventions MIDFOOT et COMBI abaissent le TCVM de moitié par rapport à NORM. Par ailleurs, lors de l'adoption du pattern « avant-pied » dans les essais MIDFOOT et COMBI, les auteurs ont noté la disparition du pic d'impact sur la courbe de force de la réaction du sol. Cet élément a été reconnu comme révélateur d'un type de pose avant-pied (Dickinson, Cook & Leinhardt, 1985). Nous pouvons en conclure que les interventions ont été respectées et qu'il n'y a pas eu de biais majeur à ce niveau.

Les résultats de l'article d'Hobara et al. (2012) sont présentés sous forme de graphiques et une équation est donnée afin de calculer les données. Les résultats obtenus pour les deux taux de charge verticale sont plus élevés que dans les deux autres études. Nous avons questionné l'un des auteurs de l'article français sur ce propos, qui a fait un lien avec les caractéristiques de l'échantillon (la moyenne de la masse corporelle plus élevée ($71.5 \pm 9.3\text{kg}$) que les deux autres populations ou la position différente des segments lors de l'attaque au sol due à la performance du coureur). Les résultats pour le TCVM de l'étude de Giandolini et al. (2013a) et ceux d'Hobara et al. (2012) peuvent être comparés avec précaution puisque la fréquence de foulée préférée est quasiment la même (2.87 Hz pour Giandolini et al. (2013a) et 2.73 Hz pour Hobara et al. (2012)). Cependant, les résultats concernant les mêmes intervalles c'est-à-dire +10% d'augmentation de fréquence chez Giandolini et al. (2013a) et de +0 à +15% chez Hobara et al. (2012) diffèrent quant à leur significativité. Dans l'article japonais, la

valeur de la fréquence de foulée préférée et la valeur à +15% de fréquence implique une baisse significative du TCVM alors que dans l'article français les résultats ne sont pas significatifs pour +10% de la fréquence. Nous pensons que cela est dû à la comparaison des différences significatives. Ainsi, dans l'étude française, la significativité est calculée par rapport à la NORM (fréquence préférée) alors que dans l'étude japonaise elle est mesurée par rapport à -30% de la fréquence préférée.

Etant donné que l'article de Giandolini et al. (2013a) ne teste que la fréquence à +10%, les autres résultats ne peuvent être comparés avec l'étude d'Hobara et al (2012). En outre, l'article japonais mesure la différence significative entre la valeur de -30% et les autres données, ce qui nous semble ne pas être le plus utile. En effet, il aurait été intéressant de savoir si l'augmentation de la fréquence de foulée abaissait significativement le taux de charge verticale par rapport à notre fréquence de foulée préférée, c'est-à-dire ici 0%.

Par ailleurs, l'article de Laughton et al. (2003) mentionne que la collecte de données a été réalisée après des essais d'acclimatation du changement de pattern et qu'un index de type de pose de pied était utilisé pour le contrôler. L'utilisation de l'index de pattern mesure la distance entre le point d'impact au sol avec le talon et cela permet de classer le coureur soit en avant-pied, arrière pied ou milieu pied (Altmann & Davis, 2011). Les auteurs ont également remarqué la baisse, voire la disparition, du pic d'impact dans les essais FFS (avant-pied) ce qui nous semble appuyer la fiabilité des résultats obtenus entre les deux interventions. Par ailleurs, lors de l'enseignement du changement de pattern, les auteurs indiquaient aux personnes de courir en posant l'avant du pied sans poser le talon ce qui correspond davantage à un type de pose « pointe de pied » que « avant-pied ». Contrairement à l'étude de Giandolini et al. (2013a) dans laquelle il était indiqué de poser l'avant du pied en premier puis le talon doucement, ce qui correspond au pattern avant pied.

Quant à la p-valeur, celle-ci n'est pas exprimée de manière précise pour les résultats obtenus dans les études française et japonaise mais sous-entendue par supérieure ou inférieure à 0.05 ou à 0.01. Cependant, dans l'article français, les résultats sont suivis d'un pourcentage de changement par rapport à NORM, la valeur de référence, ce qui nous paraît intéressant afin de juger le taux de variance entre les interventions.

6.2.2. Interprétation des études par rapport à la problématique

Comme nous l'avons présenté précédemment, deux études montrent une baisse significative du TCVM proportionnellement à une augmentation de la fréquence de foulée et à une adoption d'un type de pose avant-pied. L'étude la plus ancienne (Laughton et al., 2003), quant à elle, ne démontre aucun changement significatif relatif au changement de pattern malgré la tendance à la diminution des TCVM et TCVI avec le pattern avant-pied. De plus, le TCVI diminue significativement avec l'augmentation de la fréquence de foulée pour l'étude d'Hobara et al. (2012). Sachant que le taux de charge verticale a été reconnu par la littérature scientifique comme lié au risque de fracture de fatigue tibiale, nous pourrions conclure qu'une augmentation de la foulée de +15% de sa fréquence préférée et un changement de son type de pose de pied vers une attaque avant-pied réduirait le risque de survenue de fracture de fatigue tibiale chez le coureur. Cependant, au vu de la qualité incomplète de nos articles, des nombreux biais que nous exposerons par la suite et de la taille minime des échantillons, cette affirmation ne peut se généraliser. Néanmoins, les trois études sélectionnées ne présentent pas de résultats contradictoires et toutes tendent vers la même conclusion. En outre, lors de l'inclusion des articles il a été difficile de trouver précisément les mêmes outcomes car les mesures diffèrent, autant au niveau du choix de plan (vertical, antéropostérieur, etc.), qu'au niveau du type de taux de charge. Nous avons choisi d'utiliser le taux de charge verticale moyen et instantané afin d'avoir une vision globale du taux de charge au lieu d'utiliser seulement un seul type.

6.3. Biais et limites des études

Dans cette partie, nous allons discuter des limites, des biais que nous avons identifiés durant l'avancée de notre travail et dont nous pensons qu'ils sont susceptibles d'influencer les résultats. Dans un premier temps, nous allons aborder les limites au sein d'une même étude et, dans un second temps, nous allons lier les études entre elles.

6.3.1. Intra-études

6.3.1.1. Populations

Les études que nous avons sélectionnées ont des populations avec des caractéristiques proches les unes des autres comme mentionnées dans le chapitre 5.3.1. Cependant, elles ne représentent pas forcément la population que nous allons rencontrer dans notre

pratique future. En effet, les études regroupent seulement des coureurs récréationnels alors que nous pourrions être amenés dans notre pratique future à rencontrer des coureurs semi-professionnels ou professionnels.

Nous allons aborder les différentes caractéristiques qui nous semblent importants.

- Taille des échantillons : Les études sélectionnées comportent un petit nombre de coureurs, soit un minimum de 9 et un maximum de 15 coureurs. Cette limite restreint la portée des résultats. Il pourrait être judicieux de faire une nouvelle étude avec un plus grand nombre de coureurs afin que les résultats soient plus fiables.

- Sexe : Principalement des hommes sont présents. Seule l'étude de Giandolini et al. (2013a) a intégré 3 filles pour 9 participants ; Hobara et al. (2012) ainsi que Laughton et al. (2003) n'ont aucune femme dans leur étude. Il faut noter une recrudescence des fractures de fatigue chez les femmes (Boyer et al., 2005 ; Duckham et al., 2012 ; Prouteau, Benhamou & Courteix, 2005). Milner et al. (2006b) vont jusqu'à dire qu'il y a deux fois plus de chance pour que les femmes présentent une fracture de fatigue tibiale bilatérale par rapport aux hommes. Il aurait donc été judicieux d'intégrer des femmes dans les études afin d'augmenter la validité externe de ces dernières mais aussi de permettre une généralisation des résultats.

- Âge : Les moyennes d'âge se situent dans la même classe (20-30 ans), nous pensons que cette tranche est exemptée du phénomène d'ostéoporose et que la croissance osseuse est arrivée à terme.

- Masse : Dans les trois études, nous avons la moyenne de la masse corporelle des coureurs retenus ainsi que l'écart type mais pas les valeurs maximales. Or, nous savons que la masse corporelle influe sur les périostites tibiales (Yagi, Muneta & Sekiya, 2012) mais aucun lien encore n'a été établi avec les fractures de fatigue tibiales ; cependant nous pensons que cela pourrait avoir une influence sur les résultats obtenus sachant que le taux de charge verticale (kg.s^{-1}) dépend lui-même de la masse du coureur.

Afin d'évaluer la santé des populations, nous avons décidé de calculer le body mass index (BMI) de chacune de ces études et la moyenne totale. Dans l'étude d'Hobara et al. (2012), le BMI s'élève à 23.35, dans celle de Giandolini et al. (2013a) il est de 22.64 et enfin celui de Laughton et al. (2003) est égal à 22.98, ce qui nous donne une moyenne de 22.99. Ces valeurs se situent dans la tranche du BMI normal (18.5 à 25).

- Inclusion : Dans les trois études, l'inclusion des coureurs a été décrite de manière détaillée avec des tests spécifiques pour la détermination du type de pose de pied. Cependant le critère d'inclusion sur la non présence de blessures au moment de

l'étude nous paraît être un biais possible. En effet, les coureurs étaient inclus s'ils ne présentaient pas de blessures récentes mais aucune investigation n'était faite sur leurs antécédents. Bien que Bennell et al. (2004) n'aient pas trouvé de différences significatives entre le GRF des femmes ayant déjà eu des fractures de fatigue et celui des femmes n'en ayant jamais eues, les résultats pourraient être plus ou moins influencés par des pathologies antérieures qui changeraient la manière d'amortir ou provoqueraient des compensations, etc.

- Type de sport : Suite à notre entretien avec Mme Giandolini, nous savons que la population de son étude était pour la plupart des étudiants en sciences du sport. Bien qu'ils ne soient pas des sportifs professionnels, nous pensons qu'il s'agit là d'un échantillon de coureurs « partiellement » récréationnels puisqu'ils pratiquent du sport tous les jours, avec des plages horaires réservées pour cela, ainsi que des compétitions universitaires. Or, dans l'étude d'Hobara et al. (2012) les participants sont modérément actifs et suivent des entraînements récréationnels et non des entraînements intensifs. Cependant dans l'étude de Laughon et al. (2003), aucune information sur le niveau de sport n'a été donnée, nous savons seulement que les personnes recrutées sont des coureurs attaquant avec le talon et n'ayant jamais utilisé d'orthèse.

6.3.1.2. Intervention

- Type de chaussures : Dans les deux études traitant du changement de pattern, les chaussures utilisées étaient considérées par les auteurs comme amenant trop d'amortis sur le talon comparativement à une course, pieds nus ou minimaliste. Ainsi, les résultats des interventions « attaque talon » peuvent être biaisés. En effet, l'étude de Lieberman et al. (2010) a montré une baisse significative du taux de charge chez les coureurs pieds nus comparativement aux chaussées. Par ailleurs, dans l'étude de Giandolini et al. (2013a), les auteurs expliquent qu'ils n'ont pas souhaité faire porter des chaussures minimalistes aux coureurs car cela représenterait un trop gros changement dans leur manière de courir et le temps de l'étude ne permettait pas un temps d'acclimatation satisfaisant. Nous pensons qu'il aurait été judicieux d'utiliser des chaussures avec un amorti de talon moindre pour les deux interventions de patterns afin de s'assurer qu'il n'y ait aucun biais mais cela nous paraît également être en contradiction avec le confort habituel des coureurs arrière-pied courant avec ce type de chaussures.

- Type de sol : Deux des études retenues ont été réalisées sur un tapis roulant alors que la troisième ne spécifie pas le type de sol. Selon Milgrom et al. (2003), le risque de

développer une fracture de fatigue tibiale est moins important si l'on court sur un tapis roulant plutôt qu'en plein air.

- Type de pose de pied : Le choix de coureurs seulement « arrière-pied » pour les études concernant le pattern nous a également interpellés. Laughton et al. (2003) se justifient par la présence dans la littérature, d'études qui démontrent qu'il n'y a aucune différence entre des avant-pieds naturels et convertis. Au vu de l'étude de Willaims, McClay et Manal (2000), quasiment toutes les variables biomécaniques sont comparables entre les deux groupes, notamment le taux de charge verticale, exceptée la force de réaction du sol globale qui est différente.

Quant à Madame Giandolini, elle nous a exprimé la difficulté de trouver des coureurs avant-pied dans une population récréationnelle mais admet que les résultats auraient été plus concordants. En effet, le défaut d'inclusion de coureur avant-pied nous paraît être une limite majeure pour l'utilisation et la généralisation des résultats. Cependant, d'un point de vue pratique, il est logique que peu de coureurs récréationnels sont de type avant-pied (seulement 5% pour De Almeida, Saragiotto, Yamato & Lopes, 2015) et qu'il aurait fallu inclure des sportifs davantage portés sur l'athlétisme.

6.3.2. Inter-études

Une des grandes difficultés que nous avons rencontrées lors de l'élaboration de ce travail concerne la comparaison de nos études transversales, tant au niveau de la population, des interventions, que des mesures du taux de charge verticale instantané et moyen.

6.3.2.1. Population

Comme vu précédemment dans nos résultats, les populations des études sélectionnées sont globalement homogènes. Cependant, il nous est difficile de savoir à quel point les différences présentes au niveau de l'âge, de la masse, de la répartition du sexe et du niveau de l'activité peuvent influencer le taux de charge instantané et moyen. De plus, nous nous questionnons quant à la généralisation des résultats au vu de la petite taille des échantillons.

6.3.2.2. Intervention

- Le type de pose de pied : Le changement de type de pose de pied s'est fait dans les deux études à partir de coureurs ayant une attaque arrière pied. Nous pensons donc

qu'il est possible de comparer les résultats. Bien que Williams et al. (2000) disent que le taux de charge verticale est identique entre un groupe passant d'une attaque par le talon à une attaque à l'avant-pied et celui ayant une attaque à l'avant-pied physiologique, nous pensons qu'il serait bien de faire des études avec des coureurs ayant une attaque avant-pied physiologique.

- La fréquence de la foulée : La moyenne de la fréquence de foulée préférée s'élève à 2.87 Hz dans l'étude de Giandolini et al. (2013a) et à 2.73 ± 0.14 dans celle d'Hobara et al. (2012). Comme expliqué ultérieurement, dans l'étude française, les mesures ont été faites à +10% de la fréquence de foulée préférée ainsi qu'à la fréquence préférée et les résultats à +10% ont été comparés à la fréquence préférée. Alors que dans l'étude japonaise, les mesures ont été faites à -30%, -15%, +0%, +15%, +30% de la fréquence de foulée préférée et les résultats ont été comparés à la valeur correspondant à -30% de la fréquence de foulée préférée. Il a donc été difficile de comparer les études sachant que la comparaison n'était pas faite avec la même valeur.

6.3.2.3. Mesure du taux de charge verticale instantané et moyen

Dans les trois cas, le taux de charge verticale instantané et moyen ont été mesurés grâce à une plateforme. En revanche, la prise de mesure n'a pas été faite sur le même nombre de foulées et nous nous questionnons si une prise de mesure sur un plus grand nombre de foulées ne pourrait pas influencer les résultats. De plus, la fréquence des prises de mesure n'est pas la même dans les trois études. Dans les études française et chinoise, les mesures sont enregistrées avec une fréquence de 1000 Hz alors que dans l'étude américaine, elles sont enregistrées à une fréquence de 960 Hz. Cette différence de 40 Hz pourrait compromettre la comparaison des résultats sur le type de pose de pied. Nous nous demandons donc si nous pouvons vraiment comparer les résultats de l'étude de Giandolini et al. (2013a) et Laughon et al. (2003).

6.4. Limites et points forts de notre revue de la littérature

La rédaction d'une revue de la littérature, dans le cadre de notre Travail de Bachelor, est une première pour nous. Il nous a fallu apprendre et adapter notre méthode de recherche selon les différentes bases de données utilisées, systématiser nos évaluations d'articles et savoir analyser les résultats et les valeurs statistiques. Notre manque d'expérience a pu certainement mener à des imprécisions et/ou oublis éventuels de notre part.

Le thème que nous avons choisi s'éloignant du domaine strictement médical, les ressources qui nous sont offertes par les bases de données mises à disposition par HESGE n'ont pas été optimales pour notre travail. En effet, des bases de données ciblées sur le sport auraient certainement apporté davantage de littérature sur notre sujet. Nous aurions souhaité consulter la base de données Sport Discus, spécialisée dans le sport, mais ses accès n'étaient pas possibles durant notre période de recherche, alors que depuis avril 2015 cela est possible pour la HESGE. Les articles présents dans cette base de données et pouvant rentrer dans la cadre de ce travail seront utilisés lors de la soutenance.

Les articles sélectionnés regroupant une petite population avec très peu de femmes, il nous est difficile de savoir si l'on peut généraliser les résultats mis en avant dans ce travail à la population que nous allons rencontrer dans notre pratique future. On se demande si les résultats trouvés pourront s'appliquer à des coureurs non récréationnels.

Pour la rédaction du cadre théorique, des connaissances sur la biomécanique de la course ainsi que sur les forces de réactions au sol nous ont manqué. Beaucoup de notions non abordées durant notre cursus en physiothérapie étaient à prendre en considération et celles-ci nous ont été expliquées par Mme Giandolini lors de notre rencontre mais également grâce à des recherches personnelles de documentation.

En outre, nous avons choisi le taux de charge verticale comme outcome car il possédait la corrélation la plus forte avec le risque de fracture de fatigue tibiale. Cependant, de récentes publications et des recherches pas encore publiées tendent à impliquer davantage l'accélération d'impacts que le taux de charge dans les pathologies liées à l'impact au sol (García-Pérez, Pérez-Soriano, Llana Belloch, Lucas-Cuevas & Sánchez-Zuriaga, 2014). Dans le cas où celle-ci serait davantage impliquée dans la pathologie, la question de recherche devra inclure l'accélération d'impact.

Par ailleurs, nous nous sommes aperçues postérieurement à la recherche d'articles que nous avons omis d'utiliser le mot clé « longueur de foulée » dans notre équation. En effet, nous avons intégré « fréquence de foulée » mais pas « longueur de foulée » alors que les deux mots clés représentent la même finalité. L'exclusion d'articles écrits dans d'autres langues que celles maîtrisées (français, anglais, espagnol) est également une limite car notre travail ne reflète que la situation sur les continents européen et américain où la population est principalement de type caucasienne.

Concernant les articles choisis, une des limites de notre travail est le faible niveau de preuves des études. Cependant, il nous paraît difficile d'entreprendre des recherches en aveugle autant pour les coureurs que pour l'évaluateur concernant leur fréquence de foulée et leur type de pattern. De plus, le nombre restreint de coureurs dans les échantillons témoigne de la quantité de variables à analyser dans les études.

Un des points forts de notre travail est le choix des critères d'inclusion qui nous paraissait judicieux. L'exclusion des personnes en dehors de la tranche d'âge de 18-40 ans nous semble éviter les risques de biais relatifs à la croissance et au vieillissement osseux qui pourrait fausser l'importance d'impact au sol.

La rencontre avec l'auteur d'un des articles est également une plus-value pour notre travail car, d'une part, les questions concernant la méthodologie de l'étude ont pu être explicitées et, d'autre part, les incompréhensions sur les aspects biomécaniques ont pu être éclaircies. Concernant ces variables biomécaniques, un réel travail de recherche pour acquérir des connaissances dans ce domaine a été entrepris car nous avions le désir d'utiliser des paramètres qui soient corrélés le plus possible à la pathologie choisie.

Pour terminer, la construction du présent travail a été élaborée selon un plan de répartition des tâches avec, pour chaque partie, une relecture de la part du binôme ainsi qu'un ajout de connaissances, si cela était nécessaire.

6.5. Confrontation à la littérature existante

Nous allons dans ce paragraphe mettre en avant les similitudes et différences retrouvées dans la littérature avec les études que nous avons sélectionnées.

Il n'existe pas, à notre connaissance, de revues de la littérature traitant de la relation directe entre les fractures de fatigue tibiales (FFT) et le type de pose de pied ou de la fréquence de foulée et aucune non plus sur le lien entre le taux de charge verticale et le type de pose de pied ou de la fréquence de foulée.

Seule une étude a recherché la corrélation entre la survenue de FFT avec le pattern. Il s'agit de l'étude rétrospective de Daoud et al. (2012) qui conclut à une hausse significative de « stress blessures » chez les coureurs « attaque talon » par rapport au pattern « arrière-pied » mais pas significative pour les fractures de fatigue tibiales spécifiquement. Les personnes incluses sont des étudiants de l'université d'Harvard faisant partie de l'équipe de cross et participant à des compétitions de façon régulière.

Entre autre, une étude d'Edwards, Taylor, Rudolphi, Gillette et Derrick parue en 2010 élabore un modèle probabiliste de risque de fracture de fatigue en intégrant les forces de contact articulaire et la vitesse de course. Sachant que le type de pose de pied influence la répartition des forces de contact articulaire, un lien existerait entre la survenue de fracture de fatigue et le type de pattern.

Par ailleurs, de la littérature existe sur le lien entre le taux de charge verticale et le type de pattern ou la fréquence de foulée mais les outcomes diffèrent de ceux attendus. Ainsi, dans l'étude de Lieberman et al. (2010), le taux de charge était calculé pour des coureurs avant et arrière pied et chaussés ou pieds nus cependant les auteurs n'ont pas spécifié l'axe d'analyse (vertical). D'autre part, dans les recherches de De Wit et al. (2000) ils ont étudié le taux de charge verticale maximal avec différentes vitesses chez des coureurs chaussés ou non. A plusieurs reprises, nous avons essayé de contacter les auteurs afin d'avoir plus de détail concernant l'outcome, à savoir notamment si l'on pouvait l'inclure en tant que taux de charge verticale instantané ou non, mais nous n'avons reçu aucune réponse.

6.6. Pistes futures

Nous pensons qu'il serait peut être intéressant de réaliser des études avec des personnes attaquant à plat (15% des coureurs) ou avec l'avant-pied (5% des coureurs) de manière physiologique même si nous savons que cette population représente que de petits pourcentages et qu'il pourrait être difficile de trouver des coureurs avec ces types d'attaque (Giandolini, 2014a). Même si Williams et al. (2000) ont prouvé qu'il n'y avait pas de différence du taux de charge verticale entre une personne qui passait d'une attaque arrière-pied à avant-pied et un coureur ayant pour attaque physiologique une attaque avant-pied, nous restons prudentes quant à la conclusion de cette recherche.

Il pourrait être également judicieux d'étudier le type de sol. L'étude de Milgrom et al. (2003) a prouvé que le taux de charge verticale était moins élevé lorsque l'on courait sur un tapis. Nous avons effectué des recherches par rapport au gazon, au béton et aux chemins de terre mais en vain. Cette intervention pourrait nous être favorable étant un facteur sur lequel, en tant que physiothérapeute, nous pourrions conseiller nos patients.

D'autre part, lorsque l'accélération disposera d'assez d'études pertinentes, une revue de la littérature pourrait être entreprise concernant le lien entre l'accélération d'impact avec

la fréquence de foulée et le type de pose de pied afin d'optimiser la prévention du risque de blessures chez les coureurs.

6.7. Pertinence pour notre pratique

Les revues de la littérature permettent d'informer la population ciblée, ici les coureurs, ainsi que les professionnels de la santé et plus particulièrement les physiothérapeutes, ceux-ci pouvant dispenser à leurs patients des conseils basés sur une évidence scientifique.

Le nombre de coureurs étant en augmentation ces dernières années (Boyer et al., 2005 ; Novacheck, 1998) il est important de connaître les risques de cette activité afin de pouvoir les prévenir. Nous savons que les fractures de fatigue représentent 10% des blessures chez les sportifs (Labareyre & Rodineau, 2000) dont 48% se situent au niveau du tibia (Bompart, 2012). De plus, cette blessure demande un arrêt d'activité sportive de 6 à 8 semaines (Milner et al., 2006b) complet ou relatif. Il faut savoir que ce repos imposé peut jouer un rôle sur l'aspect psychologique du sportif, qu'il soit sportif de haut niveau ou sportif amateur (Rochcongar, 2007). Selon Rochcongar (2007), « certaines blessures sont vécues par les sportifs comme un drame, et que cela n'est pas toujours corrélé au niveau de pratique et à la gravité de la lésion, loin s'en faut. La portée émotionnelle du traumatisme est toujours forte. » (p.188). Il est donc important de prévenir ces blessures afin d'éviter un arrêt total de la pratique sportive.

Nous savons qu'un taux de charge verticale instantané et moyen élevé augmente le risque d'avoir une fracture de fatigue (Milner et al., 2006a ; Zadpoor & Nikooyan, 2011 ; Zifchock et al., 2006) or une augmentation de la fréquence de foulée de 17.55% diminue significativement le taux de charge verticale instantané et une hausse de 18.07% diminue significativement le taux de charge verticale moyen (Hobara et al., 2012). En outre, un changement de pattern en avant-pied diminue significativement le taux de charge verticale moyen pour l'étude de Giandolini et al. (2013a) mais pas pour Laughton et al. (2003). Nous pouvons donc nous demander si par syllogisme nous n'avons pas une diminution du risque d'entraîner une fracture de fatigue si nous diminuons la fréquence de foulée et changeons notre type de pose de pied vers l'avant. Si cela se révèle exact, le physiothérapeute a un rôle à jouer dans la prévention. Concernant cette prévention, des études ont montré le bien-fondé d'un programme d'entraînement visant à diminué l'impact au sol (Crowell, & Davis, 2011 ; Crowell,

Milner, Hamill & Davis, 2010). Le principe était d'indiquer au sportif de courir « plus doucement » et un feedback visuel lui était donné afin qu'il garde le pic d'accélération en dessous d'une ligne. Ainsi, le taux de charge verticale et le pic d'impact ont été diminués significativement post-entraînement. De plus, nous avons trouvé dans la littérature des études portant sur le changement de pattern et de chaussures afin de réduire les forces d'impact au sol. Concernant le changement de type de pose de pied et du type de chaussures (normales ou à semelle réduite), Giandolini, Horvais, Farges, Samozino et Morin (2013b), n'ont pas trouvé de changements significatifs à la fin du programme qui s'est étalé sur 3 mois. Concernant l'étude de Lierberman (2012), une attaque de l'avant-pied pourrait être facilitée par un raccourcissement de la longueur de foulée. La principale caractéristique qui ressort des programmes de réentraînement est l'importance de la progression dans le changement de pattern ou de chaussures (Daoud et al., 2012 ; Giandolini et al., 2013b ; Rixe, Gallo & Silvis, 2012).

7. CONCLUSION

Notre premier objectif était d'analyser le lien entre le taux de charge verticale instantané ou moyen et une fréquence de foulée élevée ou un type de pose de pied spécifique chez le coureur. Dans un second temps, notre but était de faire le lien entre l'effet de la fréquence de la foulée ainsi que du type de pose de pied sur les fractures de fatigue tibiales. Si nous analysons les conclusions des articles sélectionnés, une hausse de la fréquence de foulée ainsi qu'un type de pattern avant-pied diminueraient le taux de charge verticale et par déduction le risque de survenue de fracture de fatigue tibiale.

Cependant, il est important de prendre en compte le fait que certains facteurs peuvent modifier les résultats obtenus et que la qualité limitée de nos articles nous oblige à modérer nos conclusions. D'autres études, comportant des coureurs attaquant physiologiquement avant et arrière pied seraient nécessaires afin de les valider.

8. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Les trois articles sélectionnés

- Giandolini, M., Arnal, P. J., Millet, G. Y., Peyrot, N., Samozino, P., Dubois, B. & Morin, J. B. (2013a). Impact reduction during running : efficiency of simple acute interventions in recreational runners. *European journal of applied physiology*, 113(3), 599-609.
- Hobara, H., Sato, T., Sakaguchi, M., Sato, T. & Nakazawa, K. (2012). Step frequency and lower extremity loading during running. *International journal of sports medicine*, 33(4), 310.
- Laughton, C. A., Davis, I. M. & Hamill, J. (2003). Effect of strike pattern and orthotic intervention on tibial shock during running. *Journal of Applied Biomechanics*, 19(2), 153-168.

Articles

- Altman, A. R. & Davis, I. S. (2012). A Kinematic Method for Footstrike Pattern Detection in Barefoot and Shod Runners. *Gait & Posture*, 35(2), 298–300.
<http://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2011.09.104>
- Bennell, K., Malcolm, S., Thomas, S., Wark, J. & Brukner, P. (1996). The Incidence and Distribution of Stress Fractures in Competitive Track and Field Athletes : A Twelve-Month Prospective Study. *The American Journal Of Sports Medicine*, 24(2), 211-217.
doi:10.1177/036354659602400217
- Bennell, K., Crossley, K., Jayarajan, J., Walton, E., Warden, S., Kiss, Z. S. & Wrigley, T. (2004). Ground reaction forces and bone parameters in females with tibial stress fracture. *Medicine and science in sports and exercise*, 36(3), 397-404.
- Boden, B. P. & Osbahr, D. C. (2000). High-risk stress fractures : evaluation and treatment. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 8(6), 344-353.
- Boyer, B., Bellaiche, R., Geffroy, Y., Potet, J. & Lechevalier, D. (2005). Fractures de contraintes Fractures de fatigue Fractures par insuffisance osseuse. *EMC - Radiologie*, 2(5), 527-544. doi:10.1016/j.emcrad.2005.08.001
- Cavanagh, P. R. & Kram, R. (1989). Stride length in distance running : velocity, body dimensions, and added mass effects. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 21(4), 467–479.
- Cavanagh, P. & Lafortune, M. (1980). Ground reaction forces in distance running. *Journal Of Biomechanics*, 13(5), 397-406. doi:10.1016/0021-9290(80)90033-0
- Cavanagh, P. R., Pollock, M. L. & Landa, J. (1977). A biomechanical comparison of elite and good distance runners. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 301, 328–345.
- Corrarino, J. (2012). Stress fractures in runners. *The Nurse Practitioner*, 37(6), 18-28.
doi:10.1097/01.npr.0000414593.94152.e8

- Crowell, H. P. & Davis, I. S. (2011). Gait retraining to reduce lower extremity loading in runners. *Clinical Biomechanics (Bristol, Avon)*, 26(1), 78–83.
<http://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2010.09.003>
- Crowell, H. P., Milner, C. E., Hamill, J. & Davis, I. S. (2010). Reducing impact loading during running with the use of real-time visual feedback. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 40(4), 206–213. <http://doi.org/10.2519/jospt.2010.3166>
- Daoud, A. I., Geissler, G. J., Wang, F., Saretsky, J., Daoud, Y. A. & Lieberman, D. E. (2012). Foot strike and injury rates in endurance runners : a retrospective study. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 44(7), 1325–1334.
<http://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3182465115>
- Davis, I., Milner, C. E. & Hamill, J. (2004). Does increased loading during running lead to tibial stress fractures? A prospective study. *Kinesiology Department Faculty Publication Series*, 36(5). Retrieved from http://scholarworks.umass.edu/kinesiology_faculty_pubs/359
- De Almeida, M., Saragiotto, B., Yamato, T. & Lopes, A. (2015). Is the rearfoot pattern the most frequently foot strike pattern among recreational shod distance runners? *Physical Therapy In Sport*, 16(1), 29-33. doi:10.1016/j.ptsp.2014.02.005
- De Wit, B., De Clercq, D. & Aerts, P. (2000). Biomechanical analysis of the stance phase during barefoot and shod running. *Journal of biomechanics*, 33(3), 269-278.
- Dickinson, J. A., Cook, S. D. & Leinhardt, T. M. (1985). The measurement of shock waves following heel strike while running. *Journal of Biomechanics*, 18(6), 415–422.
- Divert, C., Mornieux, G., Baur, H. & Mayer, F. (2005). A Belli1 Mechanical Comparison of Barefoot and Shod Running. *International journal of sports medicine*, 26, 593-598.
- Downs, S. & Black, N. (1998). The feasibility of creating a checklist for the assessment of the methodological quality both of randomised and non-randomised studies of health care interventions. *Journal Of Epidemiology & Community Health*, 52(6), 377-384. doi:10.1136/jech.52.6.377
- Duckham, R., Peirce, N., Meyer, C., Summers, G., Cameron, N. & Brooke-Wavell, K. (2012). Risk factors for stress fracture in female endurance athletes : a cross-sectional study. *BMJ Open*, 2(6), e001920-e001920. doi:10.1136/bmjopen-2012-001920
- Edwards, W. B., Taylor, D., Rudolphi, T. J., Gillette, J. C. & Derrick, T. R. (2010). Effects of running speed on a probabilistic stress fracture model. *Clinical Biomechanics (Bristol, Avon)*, 25(4), 372–377. <http://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2010.01.001>
- Ferber, R., Davis, I. M., Hamill, J., Pollard, C. D. & McKeown, K. A. (2002). Kinetic variables in subjects with previous lower extremity stress fractures. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 34(5), S5.
- García-Pérez, J., Pérez-Soriano, P., Llana Belloch, S., Lucas-Cuevas, Á. & Sánchez-Zuriaga, D. (2014). Effects of treadmill running and fatigue on impact acceleration in

- distance running. *Sports Biomechanics*, 13(3), 259-266.
doi:10.1080/14763141.2014.909527
- Gardner, L., Dziados, J., Jones, B., Brundage, J., Harris, J., Sullivan, R. & Gill, P. (1988). Prevention of lower extremity stress fractures : a controlled trial of a shock absorbent insole. *Am J Public Health*, 78(12), 1563-1567. doi:10.2105/ajph.78.12.1563
- Giandolini, M., Horvais, N., Farges, Y., Samozino, P. & Morin, J. (2013b). Impact reduction through long-term intervention in recreational runners : midfoot strike pattern versus low-drop/low-heel height footwear. *Eur J Appl Physiol*, 113(8), 2077-2090. doi:10.1007/s00421-013-2634-7
- Giandolini, M., Poupard, T., Gimenez, P., Horvais, N., Millet, G. Y., Morin, J.-B. & Samozino, P. (2014a). A simple field method to identify foot strike pattern during running. *Journal of Biomechanics*, 47(7), 1588–1593. <http://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2014.03.002>
- Giandolini, M. (2014b). Impact et contraintes musculo-tendineuses en course à pied : effets de la chaussure et de la technique de pose de pied. *Kinésithérapie Scientifique*, pp. 15-19.
- Giladi, M., Milgrom, C., Simkin, A., Stein, M., Kashtan, H., Margulies, J. & Aharonson, Z. (1987). Stress fractures and tibial bone width. A risk factor. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British Volume*, 69(2), 326–329.
- Gillet, C., (2004). *Analyse biomécanique de la marche et proposition de classes de marcheurs (mémoire publié)*. L'Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis.
- Hasegawa, H., Yamauchi, T. & Kraemer, W. J. (2007). Foot strike patterns of runners at the 15-km point during an elite-level half marathon. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 21(3), 888–893. <http://doi.org/10.1519/R-22096.1>
- Hauswirth, C. & Brisswalet, J. (2003). *Énergie et performance physique et sportive : Efficience énergétique et performance motrice (Dynamiques)*. Montréal : Armand Colin.
- Hayes, P. & Caplan, N. (2012). Foot strike patterns and ground contact times during high-calibre middle-distance races. *Journal Of Sports Sciences*, 30(12), 1275-1283. doi:10.1080/02640414.2012.707326
- Hansson, C. (1938). On Insufficiency Fractures of Femur and Tibia. *Acta Radiologica [Old Series]*, 19(6), 554-559. doi:10.3109/00016923809137785
- Hreljac, A. L. A. N., Marshall, R. N. & Hume, P. A. (2000). Evaluation of lower extremity overuse injury potential in runners. *Medicine and science in sports and exercise*, 32(9), 1635-1641.
- Jones, B. H., Thacker, S. B., Gilchrist, J., Kimsey, C. D. & Sosin, D. M. (2002). Prevention of Lower Extremity Stress Fractures in Athletes and Soldiers : A Systematic Review. *Epidemiologic Reviews*, 24(2), 228–247. <http://doi.org/10.1093/epirev/mxf011>

- Labareyre, H. & Rodineau, J. (2000). *Les fractures de fatigue chez le sportif*. Paris : Masson.
- Lieberman, D. E., Venkadesan, M., Werbel, W. A., Daoud, A. I., D'Andrea, S., Davis, I. S., ... Pitsiladis, Y. (2010). Foot strike patterns and collision forces in habitually barefoot versus shod runners. *Nature*, 463(7280), 531-535.
- Lieberman, D. E. (2012). What we can learn about running from barefoot running : an evolutionary medical perspective. *Exercise and sport sciences reviews*, 40(2), 63-72.
- Lopes, A., Hespanhol, L., Yeung, S. & Costa, L. (2012). What are the Main Running-Related Musculoskeletal Injuries? *Sports Med*, 42(10), 891-905. doi:10.1007/bf03262301
- Macera, C. (1989). Predicting lower-extremity injuries among habitual runners. *Archives Of Internal Medicine*, 149(11), 2565-2568. doi:10.1001/archinte.149.11.2565
- Magness, S., Ambegaonkar, J. P. & Jones, M. T. (2011). Lower extremity stress fracture in runners : Risk factors and prevention. *international journal*, 11.
- Matheson, G. O., Clement, D. B., McKenzie, D. C., Taunton, J. E., Lloyd-Smith, D. R. & MacIntyre, J. G. (1987). Stress fractures in athletes A study of 320 cases. *The American Journal of Sports Medicine*, 15(1), 46-58.
- McBryde, A. M. (1985). Stress fractures in runners. *Clinics in sports medicine*, 4(4), 737-752.
- McBryde, A. M. & Anderson, R. B. (1988). Sesamoid foot problems in the athlete. *Clinics in Sports Medicine*, 7(1), 51-60.
- McClay, I. S. & Cavanagh, P. R. (1994). Relationship between foot placement and mediolateral ground reaction forces during running. *Clinical Biomechanics (Bristol, Avon)*, 9(2), 117-123. [http://doi.org/10.1016/0268-0033\(94\)90034-5](http://doi.org/10.1016/0268-0033(94)90034-5)
- Milgrom, C., Finestone, A., Segev, S., Olin, C., Arndt, T. & Ekenman, I. (2003). Are overground or treadmill runners more likely to sustain tibial stress fracture? *British journal of sports medicine*, 37(2), 160-163. doi:10.1136/bjsm.37.2.160
- Milner, C. E., Davis, I. S. & Hamill, J. (2006a). Free moment as a predictor of tibial stress fracture in distance runners. *Journal of biomechanics*, 39(15), 2819-2825.
- Milner, C., Ferber, R., Pollard, C., Hamill, J. & Davis, I. (2006b). Biomechanical Factors Associated with Tibial Stress Fracture in Female Runners. *Medicine & Science In Sports & Exercise*, 38(2), 323-328. doi:10.1249/01.mss.0000183477.75808.92
- Murphy, K., Curry, E. J. & Matzkin, E. G. (2013). Barefoot running : does it prevent injuries?. *Sports Medicine*, 43(11), 1131-1138.
- Novacheck, T. F. (1998). The biomechanics of running. *Gait & posture*, 7(1), 77-95.

- Prouteau, S., Benhamou, C. & Courteix, D. (2005). La fracture de fatigue : facteurs de risque et perspectives d'identification. *Science & Sports*, 20(2), 59-64. doi:10.1016/j.scispo.2005.02.004
- Rixe, J. A., Gallo, R. A. & Silvis, M. L. (2012). The barefoot debate : can minimalist shoes reduce running-related injuries? *Current sports medicine reports*, 11(3), 160-165.
- Rochcongar, P. (2007). Prise en charge du traumatisme sportif. *Science & Sports*, 22(5), 187-189. doi:10.1016/j.scispo.2007.07.005
- Rothschild, C. E. (2012). Primitive running : a survey analysis of runners' interest, participation, and implementation. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 26(8), 2021–2026. <http://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31823a3c54>
- Schmid, S., Schweizer, K., Romkes, J., Lorenzetti, S. & Brunner, R. (2013). Secondary gait deviations in patients with and without neurological involvement : A systematic review. *Gait & posture*, 37(4), 480-493.
- Shaffer, R., Brodine, S., Almeida, S., Williams, K. & Ronaghy, S. (1999). Use of Simple Measures of Physical Activity to Predict Stress Fractures in Young Men Undergoing a Rigorous Physical Training Program. *American Journal Of Epidemiology*, 149(3), 236-242. doi:10.1093/oxfordjournals.aje.a009797
- Sharp, S. J., Poulaliou, M., Thompson, S. G., White, I. R. & Wood, A. M. (2014). A Review of Published Analyses of Case-Cohort Studies and Recommendations for Future Reporting. *PLoS ONE*, 9(6), e101176. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0101176>
- Soubrier, M., Dubost, J., Boisgard, S., Sauvezie, B., Gaillard, P., Michel, J. & Ristori, J. (2003). Fractures par insuffisance osseuse. Étude de 60 cas et revue de la littérature. *Revue Du Rhumatisme*, 70(5), 432-442. doi:10.1016/s1169-8330(03)00043-7
- Taunton, J. (2002). A retrospective case-control analysis of 2002 running injuries. *British Journal Of Sports Medicine*, 36(2), 95-101. doi:10.1136/bjsm.36.2.95
- Walter, S. D., Hart, L. E., McIntosh, J. M. & Sutton, J. R. (1989). The Ontario cohort study of running-related injuries. *Archives of internal medicine*, 149(11), 2561-2564.
- Williams, D. S., McClay, I. S. & Manal, K. T. (2000). Lower extremity mechanics in runners with a converted forefoot strike pattern. *Journal of Applied Biomechanics*, 16(2), 210-218.
- Yagi, S., Muneta, T. & Sekiya, I. (2012). Incidence and risk factors for medial tibial stress syndrome and tibial stress fracture in high school runners. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 21(3), 556-563. doi:10.1007/s00167-012-2160-x
- Zadpoor, A. A. & Nikooyan, A. A. (2011). The relationship between lower-extremity stress fractures and the ground reaction force : a systematic review. *Clinical Biomechanics*, 26(1), 23-28.

Zifchock, R., Davis, I. & Hamill, J. (2006). Kinetic asymmetry in female runners with and without retrospective tibial stress fractures. *Journal Of Biomechanics*, 39(15), 2792-2797. doi:10.1016/j.jbiomech.2005.10.003

Livres

Aros, B., Spindler, K. & Kaeding, C. (2010). Stress fractures. In C. Madden (Dir), M. Putukian (Dir), C. Young & E. McCarty (Dir), *Netter's sports medicine*. (pp. 455-463). Philadelphia : Elyse O'Grady

Bompard, N. (2012). *La santé en courant. Course à pied, jogging, footing... Performances, bienfaits, blessures*

Brigaud, F. (2013). *La course à pied*. [Gap]: Éd. Désiris

Chanussot, J.-C. & Danowski, R.-G. (2012). *Traumatologie du sport* (8^e édition). Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson.

Dubois, B. (2011). *Prévention des blessures en course à pied*. Québec: La Clinique du Coureur

Goldcher, A. & Nataf, E. (2002). *Podologie du sport*. Paris : Masson.

Khazzam, M. & Marberry, K. (2009). Running Injuries. In R. Buschbacher, N. Prahlow & S.-J. Dave. *Sports medicine & rehabilitation. A sport-specific approach* (2^e édition.) (pp. 159-173). Philadelphia : Robert Hurley

Saillant, G., Rolland, E. & Enkaoua, E. (1997). Les membres. In P. Magnin (Dir) & J.-Y. Cornu (Dir), *Médecine du sport : pratiques du sport et accompagnements médicaux*. (pp. 527-529). Paris : Ellipses

Sites internet

Australian Government. (2009). *NHMRC additional levels of evidence and grades for recommendations for developers of guidelines*. Accès https://www.nhmrc.gov.au/files/nhmrc/file/guidelines/developers/nhmrc_levels_grade_s_evidence_120423.pdf

Jkma.org, (2015). *KoreaMed Synapse*. Retrieved 26 March 2015, Accès http://www.jkma.org/ViewImage.php?Type=T&aid=267582&id=T6&afn=119_JKMA_54_4_419&fn=0119JKMA

Larson, P. (2011). *Vertical Impact Loading Rate in Running: Linkages to Running Injury Risk*. Accès <http://runblogger.com/2011/02/vertical-impact-loading-rate-in-running.html>

Leboeuf, F., Achard de Leluardière, F. & Lacouture, P. (2006). Étude biomécanique de la course à pied [pdf]. Accès http://www.siuaps.univ-rennes1.fr/digitalAssets/312/312101_Article_facultatif_pour_votre_culture_Approche_biomcanique_du_court_nerg_tique_Leboeuf_et_al._2006..pdf

Nike. (2015). Just Do It.. Accès http://www.nike.com/fr/fr_fr/c

Riou, M. (2014). *Les différentes phases de la foulée athlétique* [pdf]. Accès <http://www.univ-rennes2.fr/system/files/UHB/DEPARTEMENT-STAPS/Les%20diff%C3%A9rentes%20phases%20de%20la%20foul%C3%A9e%20athl%C3%A9tique.pdf>

Strobe-statement.org, (2015). STROBE Statement: New article of interest. Consulté le 28 Mars 2015. Accès http://www.strobe-statement.org/index.php?id=strobe-singel-news-view&tx_ttnews%5Btt_news%5D=1424&cHash=1889c4362b25e92f47f378bae7561d1d

Volodalen.com,. (2015). *biomécanique : coureur et ressort*. Consulté le 1 Juuin 2015, Accès. <http://www.volodalen.com/14biomecanique/lafoulee20.htm>

Ziltener, J.-L. (2011). *Aspects physiologiques et biomécaniques de la course à pied : Journée scientifique des HUG* [pdf]. Accès <http://hps.hug-ge.ch/library/marathonGE2011ziltener.pdf>

NHMRC. (2015). NHMRC additional levels of evidence and grades for recommendations for developers of guidelines Accès https://www.nhmrc.gov.au/files_nhmrc/file/guidelines/developers/nhmrc_levels_grade_s_evidence_120423.pdf

Entretien

Giandolini, communication personnelle [entretien], 2 avril 2015

9. LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

Figure 1 : Les différentes phases de la course	p. 2
Figure 2 : Types de pose de pied	p. 4
Figure 3 : Force de réaction au sol	p. 6
Figure 4 : Recherche sur les bases de données	p. 15
Figure 5 : Résultats du taux de charge verticale moyen	p. 21
Figure 6 : Résultats du taux de charge verticale instantané	p. 22
Tableau 1 : Evaluation de la qualité des études	p. 16
Tableau 2 : Population et intervention des études retenues	p. 17

10. ANNEXES

Annexe I : Tableau des combinaisons

Pubmed	((young adult[MeSH Terms] OR adult[MeSH Terms]) AND Biomechanical Phenomena[MeSH Terms] AND running[MeSH Terms] AND (impact OR loading)) AND (running pattern OR step frequency)
PEDro	Load*AND pattern* Load*AND step* Sélection de “membre inférieur/ genoux”
CINHAL	((TX young adults OR TX adults) AND TX biomechanics AND TX running) AND (TX impact OR TX loading) Sélection de “adultes (19-44years)”
Kinedoc	(pose OU foulée) ET (charge) ET (course)
Embase	'adult'/exp OR 'adult' OR 'young adult'/exp OR 'young adult' AND ('biomechanics'/exp OR 'biomechanics') AND ('running'/exp OR 'running') AND ('gait'/exp OR 'gait' OR 'loading rate') avec filter sport injury
Cochrane Library	(young adult or adult) and Biomechanical Phenomena and running # 1 (impact or loading) and (running pattern or step frequency) #2 #1 AND #2

Annexe II : Grille d'extraction de données des articles

Giandolini, M., Arnal, P. J., Millet, G. Y., Peyrot, N., Samozino, P., Dubois, B., & Morin, J. B. (2013a). Impact reduction during running: efficiency of simple acute interventions in recreational runners. <i>European journal of applied physiology</i> , 113(3), 599-609.	
Titre traduit	Réduction de l'impact lors de la course : efficacité d'une intervention ponctuelle simple chez les coureurs récréationnels
Pays	Saint-Etienne, France
Introduction	
Cadre théorique	Lors du contact avec le sol, une force de réaction du sol de 2 à 3 fois le poids du corps est générée. Plusieurs facteurs peuvent influencer la hauteur de cette force mais aucune étude aujourd'hui n'a encore décrit une analyse multifactorielle. La récente littérature tend à prouver que le taux de charge verticale présent dans la force d'impact au sol serait le principal facteur des fractures de fatigue tibiales. Dans la course il a été observé que les coureurs nus-pieds ou chaussés changeaient leur pattern afin de réduire spontanément la force d'impact du talon au sol. Cependant, il est difficile de conclure sur une diminution de l'impact en fonction des chaussures et du pattern notamment face à la disparité des méthodologies des études.
Objectifs	Evaluer les effets des facteurs sur le mécanisme d'impact durant la course, de déterminer les effets ponctuels des trois principales interventions (pattern avant pied, augmentation de la fréquence, port de chaussures minimalistes) et de tester la combinaison des trois interventions afin d'identifier la solution la plus efficace pour réduire l'impact durant la course. Et par extension de prévenir les pathologies musculo-squelettiques telles que les fractures de fatigue tibiales.
Hypothèse	
Méthodologie	
Type d'étude	Transversale (cross-selectional study)
Outcomes	Pic de force d'impact, temps du pic d'impact, taux de charge verticale moyen et activité musculaire des muscles du membre inférieur.
Durée de l'étude	Environ 2 semaines et demie
Critères d'inclusion	<ul style="list-style-type: none"> • Adultes • Session expérimentale d'inclusion • La présence d'un pic de force d'impact d'une magnitude >1 BW/first 50ms pendant au moins les 9 sur 10 foulées consécutives

Critères d'exclusion	<ul style="list-style-type: none"> • Blessures musculaires, articulaires ou osseuses récentes • Médication ou port d'orthoses qui interfère avec le pattern de course
Population	9 adultes dont 6 hommes et 3 femmes
Groupes	Pas de groupe réalisé
Caractéristique échantillon	<ul style="list-style-type: none"> • âge moyen de 20.8 ± 4.7 ans • masse corporelle de 66.41 ± 10.1 kg • taille de 171 ± 6 cm • Attaque talon • Pratiquant différents sports avec une moyenne de 10.3 ± 3.71h/sem incluant la course récréationnelle
Intervention	<p>5 interventions :</p> <ul style="list-style-type: none"> • NORM : fréquence de foulée préférée, pattern naturel (RF) avec des chaussures « normales » (Kalenji Kiprun) • RACE : fréquence de foulée préférée, pattern naturel avec chaussures de course (Kalenji Inspid Comp : moins d'amorti, semelle plus fine) • FREQ : pattern naturel avec chaussures normales et +10% de la fréquence de foulée préférée (avec métronome) • MIDFOOT : chaussures normales et fréquence de foulée préférée avec un pattern avant-pied • COMBI : combinaison de toutes les conditions expérimentales (chaussures de course, augmentation de la fréquence de foulée de +10% et attaque avant-pied) <p>Les interventions MIDEFOOT et COMBI ont été réalisées à la fin des essais afin d'éviter une mémorisation du pattern pour les autres essais. L'ordre des autres essais a été randomisé.</p>
Consentement	Consentement écrit
Aspect éthique	Approuvé par un comité d'éthique local en accord avec la Déclaration d'Helsinki.
Conflit d'intérêt	Aucune mention d'un conflit d'intérêt cependant l'un des auteurs travaille dans une firme de chaussures de sport (non utilisées dans l'étude).
Analyse des données	
Tests statistiques utilisés	Shapiro-Wilk (distribution normale) ; Fisher (variance) ; T test (respect des interventions de fréquences) ; Cohen (effect size)
Figures et tableaux	Présents et exploitables

Résultats	
Taux de charge verticale	Baisse significative (-50%) chez les MIDFOOT et COMBI. Pas d'effets significatifs des RACE et FREQ.
Discussion	
Généralités	Concernant la fréquence de foulée, une augmentation de 10 % n'est pas significative ce qui a déjà été prouvé dans d'autres études alors qu'une élévation de 20% le serait. De plus, le changement de force d'impact se produirait sur de plus longues distances. Enfin, le changement de type de pose en avant-pied induirait plus de pathologies au niveau métatarse et du tendon d'Achille.
Ouverture vers recherches futures	Observer le changement de pattern vers avant-pied sur un temps de progression long et étudier la survenue de pathologie des métatarses et des tendinopathies d'Achille.
Limite de l'étude	Les chaussures dites de « course » présentaient une surface sous le talon davantage que des chaussures minimalistes ce qui aurait biaisé le changement de pattern en MIDFOOT.
Points forts	Avoir étudié chaque intervention puis une combinaison de celles-ci. Avoir randomisé les interventions afin de ne pas avoir un risque de « mémoire » interventionnelle concernant la fréquence et le pattern qui pourrait biaisé les résultats.
Conclusion	
Conclusion	Un changement de pattern en avant-pied serait possible pour réduire l'impact de force cependant il doit se faire progressivement.
Qualité	
Score de qualité	13/20
Divers	
Commentaires personnels	Chiffres exploitables et description des mesures prises ainsi que l'explication des différentes étapes des interventions. Cependant pas de MIDFOOT naturels.

Hobara, H., Sato, T., Sakaguchi, M., Sato, T., & Nakazawa, K. (2012). Step frequency and lower extremity loading during running. International journal of sports medicine, 33(4), 310.

Titre traduit	Fréquence du pas et chargement du membre inférieur au cours de la course.
Pays	Japon
Introduction	
Cadre théorique	Les fractures de fatigue tibiales font partie des blessures les plus fréquentes liées à la course et elles sont en partie associées à des dysfonctions de charge du membre inférieur. Plusieurs études ont recherché le lien entre la force de réaction du sol avec la survenue de fracture de fatigue notamment le taux de charge verticale. Il a été démontré que le taux de charge verticale était augmenté chez les personnes présentant des fractures de fatigue tibiales. De plus, augmenter sa fréquence de foulée réduirait la survenue de blessures.
Objectifs	Déterminer si la majoration de la fréquence de foulée à une vitesse de course fixe diminue les variables de charge du membre inférieur.
Hypothèse	Pour les auteurs, la charge des membres inférieurs à une vitesse fixe serait réduite avec une majoration de la fréquence de foulée de + 15%.
Méthodologie	
Type d'étude	Transversale (cross-selectional study)
Outcomes	Pic impact vertical ; Taux de charge verticale instantané; Taux de charge verticale moyen
Durée de l'étude	Non communiquée
Critères d'inclusion	Pas de troubles neuromusculaires ou de limitations fonctionnelles dans les membres inférieurs
Critères d'exclusion	Impliqué dans un programme de course régulier
Population	10 coureurs hommes
Groupes	Aucun groupe n'a été élaboré
Caractéristique échantillon	<ul style="list-style-type: none"> • âge moyen de 28.8 ± 3.0 ans • masse corporelle de 71.5 ± 9.3 kg • taille de 1.75 ± 0.04 m • coureur récréationnel et modérément actif
Intervention	Course sur tapis roulant à une vitesse de 2.5 m/s avec différentes fréquences de

	foulée : fréquence habituelle du coureur, +15 et +30 % de la fréquence habituelle (mesurée en Hz) et -15 et -30 % de la fréquence habituelle (test à 5 fréquences différentes). Pour guider les coureurs sur le changement de fréquence de foulée les examinateurs utilisaient un métronome.
Consentement	Non communiqué
Aspect éthique	Etude réalisée en conformité avec les normes éthiques de l'International Journal of Sports Medicine. Protocole expérimental a été approuvé par le comité d'éthique local et est conforme aux lignes directrices énoncées dans la Déclaration d'Helsinki.
Conflit d'intérêt	Pas de conflit d'intérêt indiqué par les auteurs.
Analyse des données	
Tests statistiques utilisés	One-way ANOVA et post-hoc test de comparaison multiple de Bonferri ont été utilisés pour comparer les variables de chargement entre les 5 fréquences de foulées différentes.
Figures et tableaux	Pas de tableau mais figures exploitables
Résultats	
Taux de charge verticale instantané (VILR)	Différence significative entre les 5 fréquences. VILR moins important quand la fréquence de foulée est de +15 et +30%. Mais $VILR > VALR$ Chargement minimum se retrouve pour des fréquences de foulée à 17.25, 17.55 et 18.07% de la fréquence de base.
Taux de charge verticale moyen (VALR)	Différence significative entre les 5 fréquences. VALR moins important quand la fréquence du pas est de +15 et +30%. Mais $VILR > VALR$ Chargement minimum se retrouve pour des fréquences de foulée à 17.25, 17.55 et 18.07% de la fréquence de base.
Discussion	
Généralités	Une majoration de la fréquence de la foulée lors de la course peut s'avérer bénéfique dans la prévention des blessures. Une des explications plausibles à ces résultats serait le changement de type de pose de pied quand il augmente la fréquence de sa foulée. Un autre phénomène qui pourrait expliquer ces résultats serait l'angle du genou au moment de l'attaque du pied. Derrick et al ont montré que l'augmentation de la flexion du genou au moment du contact avec le sol pourrait réduire les forces subies par le corps et par conséquent diminuer le

	<p>potentiel de blessure.</p> <p>Cependant, on peut se demander si l'augmentation de la fréquence de foulée n'entraînerait pas une augmentation de la consommation d'énergie et donc une fatigue plus précoce. Cette fatigue pourrait entraîner un risque de déchirure musculaire.</p>
Ouverture vers recherches futures	Il faudrait prouver que les résultats trouvés sur tapis roulant sont les mêmes quand on court à l'extérieur. Des changements pourraient être dûs à la résistance de l'air, à l'environnement visuel et auditif et aux différences de sol (gazon, goudron...).
Limite de l'étude	On se demande si les résultats pourraient être retranscrits dans une pratique de la course à l'extérieur. De plus, il aurait été judicieux d'inclure des femmes dans l'étude et d'avoir un nombre d'individus plus important.
Points forts	<ul style="list-style-type: none"> • Structure de l'article complet (résumé, introduction, méthode, procédure, récolte des données, statistique, résultats, discussion et conclusion) • Mesure des deux outcomes recherchés pour notre revue.
Conclusion	
Conclusion	Les résultats démontrent que la meilleure fréquence de foulée afin de diminuer le VILR et le VALR serait celle de +15% de celle habituelle. Cela pourrait être mise en place afin de réduire les risques de survenue de fracture de fatigue tibiale sans avoir recours à du matériel ou appareillage.
Qualité	
Score de qualité	8/20
Divers	
Commentaires personnels	Nous trouvons dommage qu'il n'y ait pas plus de textes expliquant les résultats obtenus pendant cette étude, cependant les schémas expliquent très bien les résultats et souvent il est plus facile de comprendre des résultats quand ils sont illustrés. Les résultats auraient pu figurer dans un tableau récapitulatif pour chaque coureur et pas seulement pour une moyenne. De plus, il semble ne pas avoir de critères de sélection de la population par rapport à l'âge malgré la moyenne d'âge faite.

Laughton, C. A., Davis, I. M., & Hamill, J. (2003). Effect of strike pattern and orthotic intervention on tibial shock during running. *Journal of Applied Biomechanics*, 19(2), 153-168

Titre traduit	Effet des différentes poses de pied et du port d'orthèse sur le choc au niveau du tibia pendant la course
Pays	Etats-Unis
Introduction	
Cadre théorique	Les ondes de chocs résultent de l'impulsion de charge de la force d'impact avec le sol influencée par la pose du pied. L'utilisation d'orthèse sert entre autre à contrôler le mouvement lors de l'attaque du talon et de manière indirecte la flexion de genou ce qui influence la sollicitation du tendon du tibial post et patellaire. Ainsi, l'utilisation d'orthèse chez les coureurs attaquant avec l'avant pied serait inutile. De plus, certaines études montrent une forte corrélation entre le taux de charge verticale et les chocs au niveau du MI chez les attaques arrière pied.
Objectifs	Faire un état des lieux sur les effets que les différents types de pose de pied (arrière pied et avant pied) ainsi que les orthèses peuvent avoir sur le choc ressenti au niveau de l'extrémité inférieure.
Hypothèse	Un pattern avant pied induirait une plus faible accélération tibiale dûe notamment à un taux de charge verticale diminué comparativement à un arrière pied. Utiliser une orthèse influencerait et diminuerait l'accélération tibiale chez les coureurs attaquant avec le talon mais pas chez ceux attaquant avec l'avant-pied.
Méthodologie	
Type d'étude	Transversale (cross-selectional study)
Outcomes	Pic d'accélération positive tibiale (g), pic d'accélération négative tibiale (g), taux de charge verticale (BW/s) , oscillation de l'éversion du talon (°), oscillation de la dorsiflexion (°), oscillation de la flexion du genou (°), rigidité de la cheville (N.m/deg), rigidité du genou (N.m/deg), rigidité de la jambe (kN/m), oscillation du centre de gravité (cm)
Durée de l'étude	Non communiquée
Critères d'inclusion	Avant d'être inclus dans l'étude tous les coureurs ont été observés par un physiothérapeute expérimenté. Ne pas avoir utilisé d'orthèse avant l'étude Attaque talon

Critères d'exclusion	<p>Attaque avant-pied en valgus ou varus</p> <p>Limitation dans le mouvement d'attaque du talon (angle normal : 10° éversion à 20° inversion)</p> <p>Mauvais alignement de la jambe dans la position debout (valgus/varus)</p> <p>Inversion/éversion attaque du talon excessive</p> <p>Rotation interne ou externe de hanche, de genou ou de cheville excessive</p>
Population	15 coureurs ayant une attaque avec le talon
Groupes	<ul style="list-style-type: none"> • attaque talon sans orthèse • attaque avant pied sans orthèse • attaque talon avec orthèse • attaque avant pied avec orthèse
Caractéristique échantillon	<ul style="list-style-type: none"> • âge moyen de 22.46 ± 4.0 ans • masse corporelle de 66.41 ± 8.58 kg • taille de 169.75 ± 6.07cm • mêmes chaussures pour tous : Nike air pegasus (Nike, Beaverton, OR)
Intervention	<p>Course en attaque talon avec/sans orthèse</p> <p>Course avec attaque avant pied avec/sans orthèse</p> <p>Vitesse de course 3.7m/s +/-5%</p> <p>Pour le changement de pattern, l'indication donnée au coureur était de poser d'abord l'arrondi du pied avant le talon (pour le changement en avant-pied).</p>
Consentement	Signature d'un consentement en accord avec la charte universitaire de Delaware concernant les études humaines.
Aspect éthique	Pas de conflit d'intérêt
Conflit d'intérêt	<p>L'étude a été sponsorisée par Foot Management, Inc.</p> <p>Les auteurs déclarent ne pas avoir d'intérêts financiers dans cette recherche.</p>
Analyse des données	
Tests statistiques utilisés	Régression, variance et corrélation
Figures et tableaux	Figures et tableaux exploitables et détaillés.
Résultats	
Taux de charge verticale	Le taux de charge ne diffère pas significativement entre les attaques talon et avant-pied. Cependant, il est diminué dans l'intervention d'orthèse.

Discussion	
Généralités	<p>Une corrélation significative a été trouvée entre le taux de charge verticale et le pic d'accélération positive pour les deux types d'attaque mais il n'y a pas de différence significative entre les deux patterns pour le taux de charge verticale.</p> <p>De plus, les attaques avant pied possèdent une plus grande force verticale d'impact au sol de 16% du poids du corps. Notons aussi, que la talonnette dans la chaussure atténue les chocs pour les attaques talon ce qui expliquerait partiellement les résultats.</p>
Ouverture vers recherches futures	<p>Il serait intéressant d'étudier les chocs tibiaux chez les personnes attaquant avec l'avant-pied en faisant un lien avec la rigidité de la jambe.</p> <p>De plus, les recherches futures devront examiner l'effet de l'orthèse chez des coureurs ayant comme attaque naturelle l'avant-pied.</p>
Limite de l'étude	Pas de coureurs attaquant avec l'avant-pied naturellement et pas de femmes.
Points forts	Mesure des paramètres du GRF globale et détaillée et corrélation entre.
Conclusion	
Conclusion	<p>Le port d'orthèse ne change pas significativement l'accélération tibiale que ce soit une attaque de type avant ou arrière pied. Le pattern avant-pied présente une plus grande accélération tibiale, une rigidité de cheville moindre et une rigidité de genou et de jambe plus élevée que l'attaque avec talon. De plus, les taux de charge verticale sont plus élevés chez les coureurs avec une attaque de type avant-pied</p>
Qualité	
Score de qualité	13/20
Divers	
Commentaires personnels	Article détaillé sur la méthode et mesure des corrélations entre les paramètres mesurés par contre pas d'explications ni de photos de l'orthèse utilisée.

Annexe III : Articles retenus

- Giandolini, M., Arnal, P. J., Millet, G. Y., Peyrot, N., Samozino, P., Dubois, B. & Morin, J. B. (2013a). Impact reduction during running : efficiency of simple acute interventions in recreational runners. *European journal of applied physiology*, 113(3), 599-609.
- Hobara, H., Sato, T., Sakaguchi, M., Sato, T. & Nakazawa, K. (2012). Step frequency and lower extremity loading during running. *International journal of sports medicine*, 33(4), 310.
- Laughton, C. A., Davis, I. M. & Hamill, J. (2003). Effect of strike pattern and orthotic intervention on tibial shock during running. *Journal of Applied Biomechanics*, 19(2), 153-168.

Annexe IV : Résumé des articles sélectionnés

Giandolini et al., 2013a: Impact reduction during running : efficiency of simple acute interventions in recreational runners

Cette étude transversale française (Saint-Etienne) a pour but d'étudier les effets du changement de pattern, de l'augmentation de la fréquence de foulée et le changement de chaussures sur les caractéristiques biomécaniques de la course.

Les interventions ont été réalisées sur une population de 9 coureurs comprenant des hommes et des femmes qui avaient préalablement donné leur consentement écrit en accord avec un comité d'éthique local et la Déclaration d'Helsinki. Il s'agissait de coureurs de type « attaque talon » impliqués dans différents sports dont la course récréative et ne présentant aucune blessure musculaire, articulaire, osseuse, ne portant pas d'orthèse et n'ayant aucune médication lors de l'étude.

Le protocole était réparti sur deux sessions avec une pause de deux semaines entre. La première session permettait l'inclusion de la population, 17 participants au départ, avec des tests afin de s'assurer du pattern naturel du coureur et de le familiariser avec les différentes interventions. Les sujets devaient courir sur un tapis roulant pendant 5 minutes avec une vitesse de 2.5 m/s puis avec leur vitesse favorite. Dans la seconde partie, ils devaient courir pendant 5 min à leur vitesse préférée avec 5 conditions d'interventions différentes : NORM (chaussures normales, fréquence de foulée préférée, pattern « attaque talon ») ; RACE (chaussures de course plus fines, fréquence de foulée préférée, pattern « attaque talon ») ; FREQ (chaussures normales, fréquence de foulée augmenté de +10%, pattern « attaque talon ») ; MIDFOOT (chaussures normales, fréquence de foulée préférée, pattern « attaque milieu du pied ») ; COMBI (chaussures de course plus fines, fréquence de foulée augmentée de +10% , pattern « attaque milieu du pied »).

L'ordre de passage des interventions était choisi de manière aléatoire afin d'éviter la mémorisation du pattern ou du changement de fréquence de foulée ce qui pourrait fausser les résultats suivants de manière systématique.

Les variables mesurées lors des interventions étaient : la force du pic d'impact, le temps du pic d'impact, le taux de charge verticale moyen, le temps de contact, le temps « aérien » et l'activité musculaire du vaste latéral, du biceps fémoral, des gastrocnémiens et du tibial antérieur. A partir de ces variables, les auteurs ont mesuré

grâce à une équation la rigidité de la jambe, la compression de la jambe, la vitesse de course moyenne et le déplacement du centre de gravité.

Les résultats concernant la variable d'intérêt pour notre travail (taux de charge verticale moyen) étaient significativement diminués pour les interventions MIDFOOT (pattern « attaque milieu du pied ») et COMBI (changement chaussures, fréquence de foulée et pattern). La conclusion des auteurs par rapport à ces résultats serait de changer de pattern ou de combiner plusieurs changements notamment au niveau du port de la chaussure et de sa fréquence de foulée pourrait diminuer les chocs d'impact au sol.

Hobara et al., 2012: Step frequency and lower extremity loading during running

La présente étude transversale a été réalisée au Japon dans le but de déterminer si la majoration de la fréquence de foulée à une vitesse de course fixe diminue les variables de charge du membre inférieur.

Pour cela, 10 coureurs récréationnels ou moyennement actifs, sans troubles neuromusculaires ni limitations fonctionnelles, ont été inclus dans l'étude.

Nous ne savons pas si un consentement a été signé par chacun des participants, cependant nous savons que l'étude a été réalisée en conformité avec les normes éthiques de l'International Journal of Sports Medicine ; de plus, le protocole expérimental a été approuvé par le comité d'éthique local et est conforme aux lignes directives énoncées dans la Déclaration d'Helsinki.

Chaque patient a réalisé un test d'entrée sur tapis roulant, dont la vitesse de course était de 2.5m/s, dans le but de connaître sa fréquence de foulée habituelle (préférée). Suite à ce test, 5 fréquences de course ont été imposées à chaque coureur durant l'étude : $\pm 15\%$, $\pm 30\%$ de leur fréquence habituelle ainsi que leur fréquence préférée ($2.73 \pm 0.14\text{Hz}$). Chacun a eu le droit à des essais pour se familiariser avec les différentes fréquences de foulée imposées. Afin d'aider les coureurs et de rendre la collecte de données la plus fiable possible, un métronome a été mis en place pour donner la cadence qu'ils devaient suivre. Une fois qu'ils se sentaient à l'aise, les données ont été relevées durant une période de 30 secondes de course pour chacune des 5 fréquences. L'ordre de passage des différentes fréquences n'était pas préalablement défini, ce dernier a été

donné de manière aléatoire durant le test. Entre chaque changement de fréquence les coureurs avaient 5min de récupération.

Durant le test, le GRF vertical a été mesuré pour chaque coureur et aux différentes fréquences de foulée. Ensuite, seulement l'analyse de 10 pas consécutifs des deux jambes a été utilisée. A partir de la mesure du GRF, le VILR et le VALR ont été déterminés. Les analyses statistiques faites dans le cadre de l'étude, montrent qu'il existait une différence significative dans le VILR et le VALR pour les fréquences de foulée testées.

Selon les auteurs de cette étude, le fait d'augmenter sa fréquence de foulée habituelle permet de diminuer la charge au niveau des membres inférieurs.

Laughton et al., 2003: Effect of strike pattern and orthotic intervention on tibial shock during running

Les auteurs de cette étude américaine de type transversale s'intéressaient à observer les effets des patterns et du port d'orthèse sur l'accélération tibiale.

L'échantillon comportait 15 participants tous de sexe masculin qui avaient au préalable donné leur consentement écrit en accord avec le règlement éthique de l'université locale (Université du Delaware, États-Unis). Il s'agissait de coureurs attaquant avec le talon et étant exempts de tout problème d'alignement du membre inférieur.

L'étude comportait une phase de familiarisation avec le port d'orthèse durant deux semaines pré-mesures afin d'éviter inconfort et biais. Les essais étaient randomisés et répartis en quatre interventions : attaque talon avec orthèse, sans orthèse ; attaque avant-pied avec orthèse, sans orthèse. Les auteurs ont utilisé un index de pose de pied afin de s'assurer du changement réel de pattern entre les interventions. Les variables étudiées étaient nombreuses dont la force de réaction du sol vertical (taux de charge verticale moyen et instantané), le pic d'accélération du tibia et l'angulation des articulations du genou et de la cheville. Les résultats indiquent une augmentation significative de l'accélération tibiale chez les coureurs « attaque talon » et une baisse du taux de charge verticale moyen chez les coureurs « attaque avant-pied » mais pas significativement. Cependant, les valeurs sont significatives chez les porteurs d'orthèses. Concernant les

angles de mouvement, les auteurs ont remarqué une plus grande éversion, dorsiflexion de la cheville significative chez les sujets « attaque avant-pied ».

En résumé, les auteurs indiquent que le port d'orthèses pourrait améliorer l'absorption des chocs sur le tibia mais ce changement est probablement dû à des différences d'angulation de la cheville et du genou. De plus, ils expliquent que la diminution non probante du taux de charge serait due à l'absorption des chocs par la semelle du talon chez les patterns avant-pied.

Annexe V : Echelle de Downs et Black(1998) modifié par Schmid et al. (2013)

<i>Items</i>	<i>Giandolini</i>	<i>Hobara</i>	<i>Laughton</i>
1. Hypothesis/aim/objective clearly described?	1	1	1
2. Main outcomes measured clearly described in introduction or methods section?	1	1	1
3. Characteristics of patients included clearly described?	1	1	1
4. Distributions of principal confounders in each group to be compared clearly described?	1	0	1
5. Main findings clearly described ?	0	0	1
6. Provide estimates of the random variability in data for main outcome?	1	1	1
7. Have actual probability values been reported for main outcomes except where probability value is <0.001?	1	0	0
8. Subjects asked to participate in the study representative of the entire population?	0	0	0
9. Subjects who were prepared to participate representative of the entire population?	0	0	1
10. Were staff, places, facilities where the patients were treated representative of the treatment the majority of patient receive?	0	0	1
11. If any of results were based on « data dredging » was this made clear?	1	1	1
12. Were the statistical tests used to assess the main outcomes appropriate?	1	0	1
13. Were the main outcome measures used accurate (valid and reliable)?	1	1	1
14. Was there adequate adjustment for confounding in analyses from which the main findings were drawn?	1	0	1
15. Were losses of patients to follow-up taken into account?	0	1	1
16 .Did study have sufficient power to detect a clinically important effect where the probability value for a difference being due to chance is <5%?	1	0	0
17. Type of devices, techniques and exact placement electrode?	1	1	1
Total /20	12	8	14

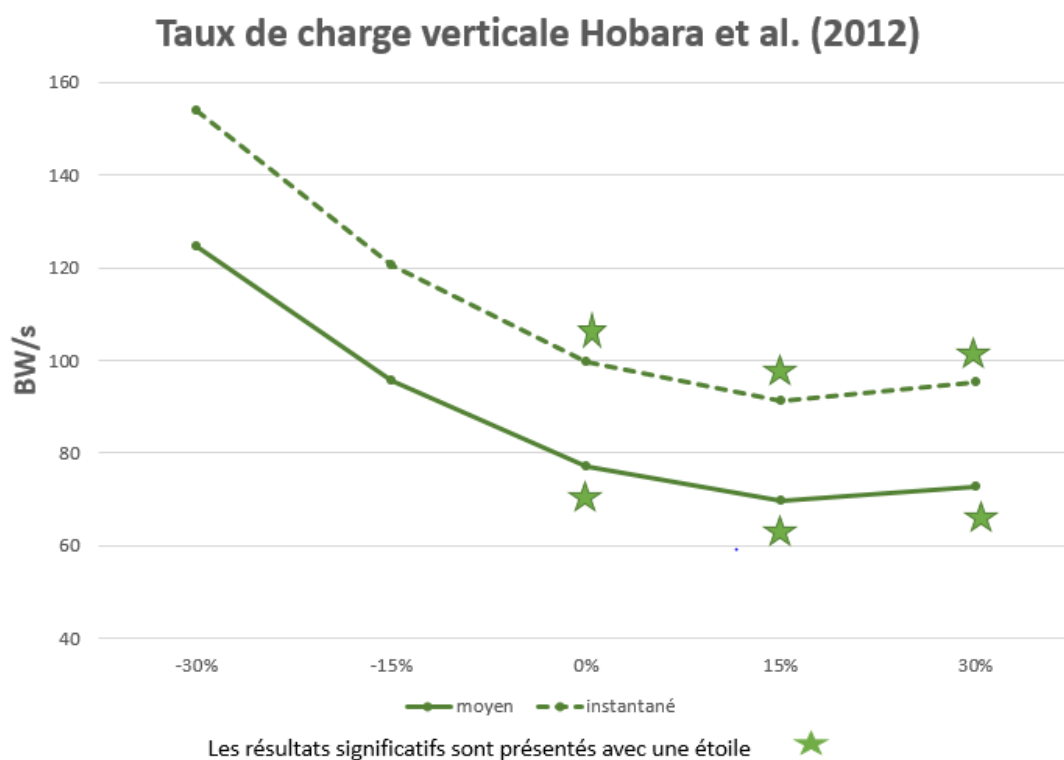
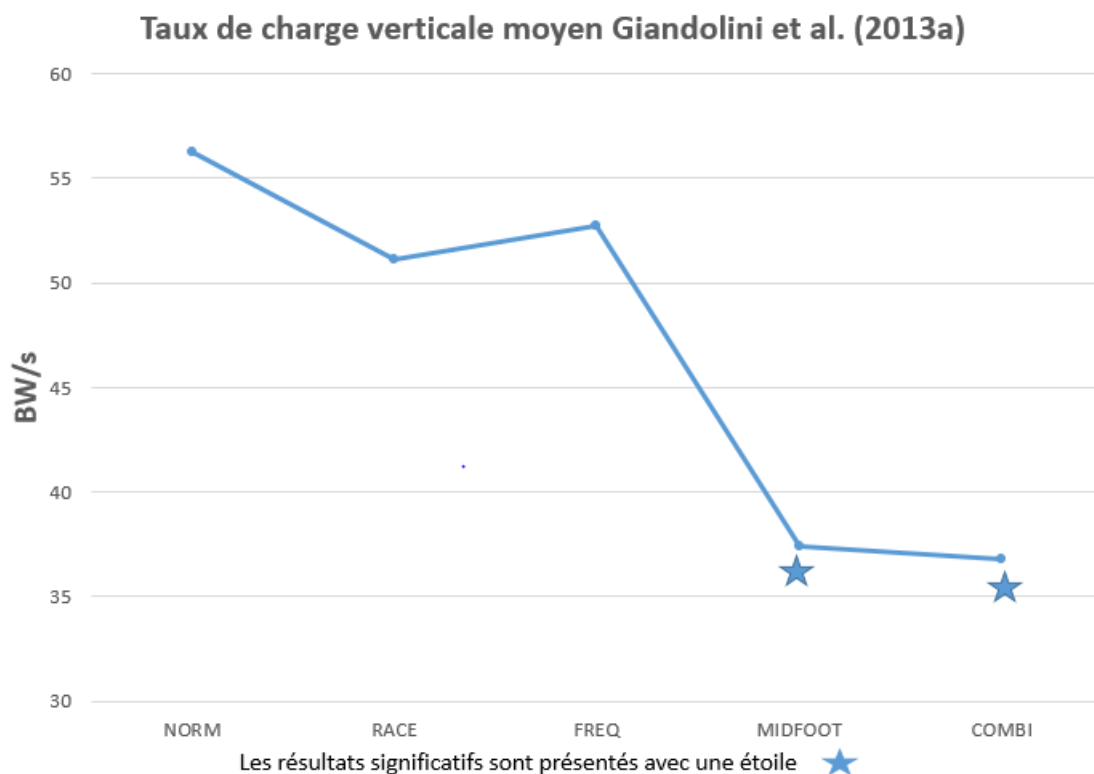
Annexe VI : STROBE Statement—Checklist of items that should be included in reports of *cross-sectional studies*

Item		Recommendation
	No	
Title and abstract	1	<u>(a) Indicate the study’s design with a commonly used term in the title or the abstract</u> (b) Provide in the abstract an informative and balanced summary of what was done and what was found
Introduction		
Background/rationale	2	Explain the scientific background and rationale for the investigation being reported
Objectives	3	State specific objectives, including any prespecified hypotheses
Methods		
Study design	4	Present key elements of study design early in the paper
Setting	5	Describe the setting, locations, and relevant dates, including periods of recruitment, exposure, follow-up, and data collection
Participants	6	(a) Give the eligibility criteria, and the sources and methods of selection of participants
Variables	7	Clearly define all outcomes, exposures, predictors, potential confounders, and effect modifiers. Give diagnostic criteria, if applicable
Data sources/ measurement	8*	For each variable of interest, give sources of data and details of methods of assessment (measurement). Describe comparability of assessment methods if there is more than one group
Bias	9	Describe any efforts to address potential sources of bias
Study size	10	Explain how the study size was arrived at
Quantitative variables	11	Explain how quantitative variables were handled in the analyses. If applicable, describe which groupings were chosen and why
Statistical methods	12	(a) Describe all statistical methods, including those used to control for confounding (b) Describe any methods used to examine subgroups and interactions (c) Explain how missing data were addressed d) If applicable, describe analytical methods taking account of sampling strategy (e) Describe any sensitivity analyses
Results		
Participants	13*	(a) Report numbers of individuals at each stage of study—eg numbers

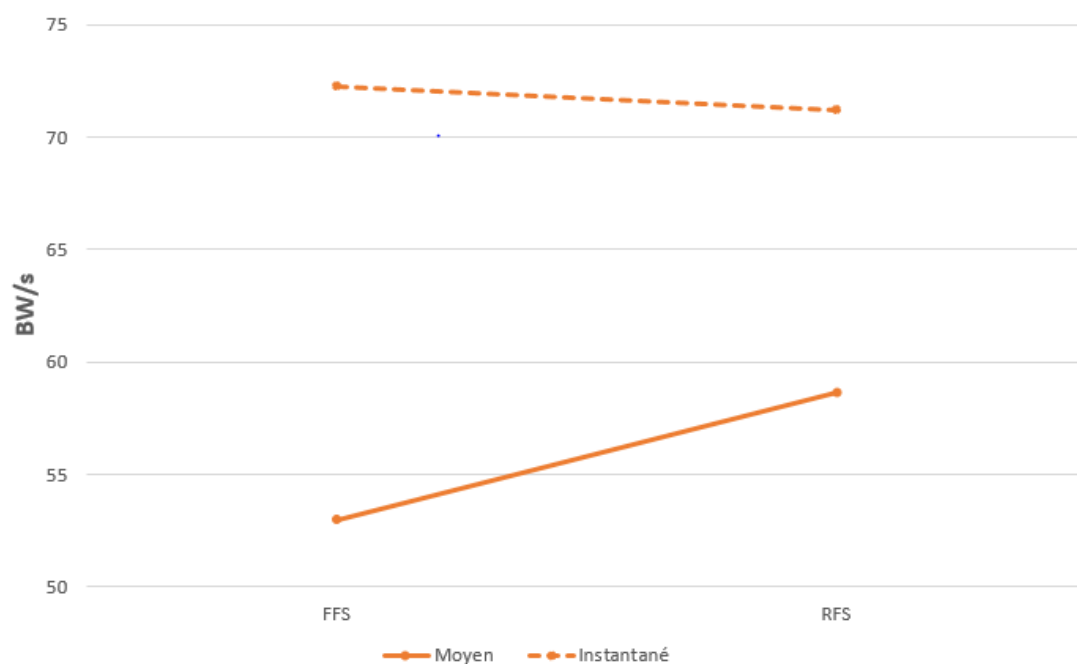
		potentially eligible, examined for eligibility, confirmed eligible, included in the study, completing follow-up, and analysed (b) Give reasons for non-participation at each stage (c) Consider use of a flow diagram
Descriptive data	14*	(a) Give characteristics of study participants (eg demographic, clinical, social) and information on exposures and potential confounders (b) Indicate number of participants with missing data for each variable of interest
Outcome data	15*	Report numbers of outcome events or summary measures
Main results	16	(a) Give unadjusted estimates and, if applicable, confounder-adjusted estimates and their precision (eg, 95% confidence interval). Make clear which confounders were adjusted for and why they were included (b) Report category boundaries when continuous variables were categorized (c) If relevant, consider translating estimates of relative risk into absolute risk for a meaningful time period
Other analyses	17	Report other analyses done—eg analyses of subgroups and interactions, and sensitivity analyses
Discussion		
Key results	18	Summarise key results with reference to study objectives
Limitations	19	Discuss limitations of the study, taking into account sources of potential bias or imprecision. Discuss both direction and magnitude of any potential bias
Interpretation	20	Give a cautious overall interpretation of results considering objectives, limitations, multiplicity of analyses, results from similar studies, and other relevant evidence
Generalisability	21	Discuss the generalisability (external validity) of the study results
Other information		
Funding	22	Give the source of funding and the role of the funders for the present study and, if applicable, for the original study on which the present article is based

*Give information separately for exposed and unexposed groups.

Annexe VII : Résultats outcomes par articles



Taux de charge verticale Laughton et al. (2003)



Annexe VIII : Tableau de résultats des outcomes par article

	Giandolini et al. (2013a)				Hobara et al. (2012)				Laughton et al. (2003)		
	Normale	Avant-pied	+10% frèq	Combiné	-30% frèq	-15% frèq	0% frèq	+15% frèq	+30% frèq	Avant-pied	Arrière-pied
Taux de charge verticale moyen (BW/s)	56,3	37,4*	52,7	36,3*	124,56	95,46	77,12*	69,54*	72,7*	52,93	58,61
Taux de charge verticale instantané (BW/s)					153,73	120,44	99,62*	91,27*	95,38*	71,22	72,22

Les étoiles (*) représentent les résultats significatifs

LEXIQUE

Abréviation utilisée	Définition
COMBI	chaussures de course plus fines, fréquence de foulée augmentée de +10%, pattern « attaque milieu du pied »
FFS	attaque avant-pied
FFT	fracture de fatigue tibiale
FIO	facture par insuffisance osseuse
FREQ	chaussures normales, fréquence de foulée augmentée de +10%, pattern « talon »
GRF	force de réaction du sol
MIDFOOT	chaussures normales, fréquence de foulée préférée, pattern « attaque milieu du pied »
MF	attaque à plat
MFF	non-attaque du talon
NORM	chaussures normales, fréquence de foulée préférée, pattern « attaque talon »
RACE	chaussures de course plus fines, fréquence de foulée préférée, pattern « attaque talon »
RF	attaque talon
TCVI / VILR	taux de charge verticale instantané
TCVM / VALR	taux de charge verticale moyen