



Effets de la chaussure minimaliste chez le coureur à pied

Flavio Cuordifede

► To cite this version:

Flavio Cuordifede. Effets de la chaussure minimaliste chez le coureur à pied. Médecine humaine et pathologie. 2021. dumas-03355822

HAL Id: dumas-03355822

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03355822>

Submitted on 27 Sep 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Effets de la chaussure minimaliste chez le coureur à pied

CUORDIFEDE Flavio

Directeur de mémoire : Antoine Ruenes

D.E.M.K MARSEILLE 2021

N°42

Note au lecteur :

« Il s'agit d'un travail de recherche personnel effectué dans le cadre d'une formation en Masso-kinésithérapie à l'école des Sciences de la Réadaptation de Marseille, et qui ne peut faire l'objet d'une publication en tout ou partie sans l'autorisation de son auteur et de l'école ».

REMERCIEMENTS

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce à plusieurs personnes à qui je voudrais témoigner toute ma gratitude.

Je voudrais tout d'abord remercier mon directeur de travail écrit Antoine Ruenes, pour le regard critique et l'aide apportée.

Je remercie également tous les formateurs de l'établissement de Masso-kinésithérapie de l'école de sciences de la Réadaptation de Marseille, qui ont su me transmettre le savoir nécessaire à la réussite de mes études.

Je remercie également mes parents de m'avoir accompagner tout au long de ces études, et plus particulièrement en cette dernière année chargée d'évènements, où rien n'aurait été possible sans eux.

Je porte également mon attention sur toutes les personnes qui m'ont soutenu lors de ces mois de travail et notamment ma copine pour son aide, ses connaissances précieuses et ses encouragements.

Enfin, je voudrais remercier tous les chercheurs, sans qui nous ne pourrions améliorer notre pratique au quotidien.

À tous ces intervenants, je vous présente mes remerciements les plus sincères.

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

AMSTAR	A Measurement Tool to Assess Systematic Reviews
ECR	Étude Contrôlée Randomisée
EVA	Échelle Visuelle Analogique
FADI	Foot and Ankle Disability Index
FFA	Fédération Française d’Athlétisme
GC	Groupe Contrôle
GE	Groupe Expérimental
HAS	Haute Autorité de Santé
MSK	Musculoskeletal
RCT	Randomized Control Crial
TM6	Test de Marche de 6 minutes

LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES

- Figure 1.1** Kinogramme d'un cycle de course
- Figure 1.2** Les différents cycles de la course
- Figure 1.3** Schéma du cycle avant et arrière lors de la prise de contact avec le sol
- Figure 1.4** Schéma du cycle avant et arrière lors de la phase d'appui
- Figure 1.5** Schéma du cycle avant et arrière lors de la phase de poussée
- Figure 1.6** Schéma du cycle avant et arrière lors de la phase de suspension
- Figure 1.7** Les différents critères d'analyse d'une chaussure selon la clinique du coureur
- Figure 2.1** Les opérateurs booléens
- Figure 3.1** Diagramme de flux des études sélectionnées pour la réalisation de la revue
- Figure 3.2** Résumé des risques de biais : évaluation de leur importance pour chaque étude incluse
- Figure 3.3** Histogramme des blessures (MSK) dans l'étude Atlaman et al., 2015
- Figure 4.1** Pourcentage de blessés selon le type de chaussure
- Figure 4.2** Douleur moyenne globale perçue par les coureurs
- Figure 4.3** Douleur moyenne globale perçue par régions anatomiques
-
- Tableau 1.1** Cotations selon les critères d'analyse de la chaussure (1/2)
- Tableau 1.2** Cotations selon les critères d'analyse de la chaussure (2/2)
- Tableau 2.1** Tableau PICO
- Tableau 3.1** Caractéristiques des 3 études exclues
- Tableau 3.2** Score PEDro des 6 articles respectant les critères d'inclusion
- Tableau 4.1** Grade de recommandation de la HAS
- Tableau 4.2** Récapitulatif de la grille AMSTAR pour la présente revue

Table des matières

1. INTRODUCTION	1
1.1 Généralités.....	1
1.2 La course à pied.....	2
1.2.1 Généralités	2
1.2.2 Le cycle de la course	3
1.2.3 Les différents types de foulés	4
1.3 Le chaussage	6
1.4 La chaussure minimaliste.....	8
1.5 Blessures liées à la course à pied	9
1.6 Problématique	10
1.7 L'importance et objectif d'une telle revue	10
2. MÉTHODE	12
2.1 Critères d'éligibilité des études pour cette revue	12
2.1.1 Types d'études	12
2.1.2 Population	12
2.1.3 Intervention	12
2.1.4 Les critères de jugement	12
2.2 Méthodologie de recherche des études	12
2.2.1 Sources documentaires investiguées.....	12
2.2.2 Équation de recherche utilisée.....	13
2.3 Méthode d'extraction et d'analyse des données	14
2.3.1 Sélection des études.....	14
2.3.2 Extraction des données	15
2.3.3 Évaluation de la qualité méthodologique des études sélectionnées	15
2.3.4 Méthode de synthèse des résultats	15
3. RÉSULTATS.....	16
3.1 Description des études	16
3.1.1 Diagramme de flux	16
3.1.2 Études exclues	17
3.1.3 Études incluses.....	18
3.2 Risque de biais des études incluses.....	25
3.2.1 Grille d'analyse utilisée	25
3.2.2 Synthèse de biais trouvés.....	26
3.2 Effets de l'intervention	29
3.2.1 Critères de jugement.....	29

4. DISCUSSION	38
4.1 Analyse des principaux résultats.....	38
4.1.1 Synthèse des résultats.....	38
4.1.2 Synthèse des limites	41
4.2 Applicabilité des résultats	46
4.2.1 La population.....	47
4.2.2 L'intervention	47
4.2.3 Les comparateurs	48
4.2.4 Les critères de jugements.....	48
4.3 Qualité des preuves et biais potentiels de la revue	48
4.4 Résumé de la discussion	53
5. CONCLUSION	55

1. INTRODUCTION

1.1 Généralités

En 1979, notre pays comptait moins de 500 coureurs réguliers recensés par la Fédération française d'athlétisme (FFA). La pratique, venue des Etats-Unis, fait ensuite une percée en France dans les années 1980 et 1990. C'est l'ère du « jogging » [1].

Cet engouement est dû notamment aux bienfaits de la course à pied divulgués par les médias tels que « la course à pied fait maigrir », « la course à pied renforce votre cœur », « la course à pied vous rend heureux » mais également parce que la pratique du « running » nécessite peu de matériel et peut se pratiquer partout en un minimum de temps.

L'activité physique est un déterminant majeur de l'état de santé, de la condition physique (en particulier de la capacité cardio-respiratoire et des aptitudes musculaires), du maintien de l'autonomie avec l'avancée en âge et de la qualité de vie des populations à tous les âges de la vie [2].

On distingue trois catégories de coureurs : les réguliers (au moins une fois par semaine), soit 5 millions de Français ; les occasionnels (moins d'une fois par semaine), soit 3,9 millions, enfin, les pratiquants pour lesquels la course à pied est le complément d'un autre sport, soit 4,6 millions de personnes [3].

Cependant, comme toute activité sportive, la pratique de la course à pied n'est pas sans risque, elle peut être responsable d'accidents ou de blessures. Entre 35 et 55% des « runners » sont victimes chaque année d'une blessure plus ou moins sérieuse [4].

Les différentes affections du coureur peuvent toucher les systèmes osseux, musculaire, ligamentaire et viscéral. Les localisations principales des blessures sont le genou (19.6%), la cheville (45.2%) et le pied (6.7%) [5].

Depuis quelques années, un nouveau courant se développe dans le domaine de la course à pied : le minimalisme. Associé ou non à un phénomène de mode, de plus en plus de coureurs s'orientent vers ces chaussures. Que recherchent les acteurs de ce mouvement, qui prônent une course proche du pied nu, plus naturelle ? Pourquoi revenir à un modèle de course proche du « pieds nus » alors que depuis les années 70, l'industrie du sport développe toujours plus les chaussures, modulant certaines caractéristiques comme le drop, l'amorti sous le talon, la rigidité des chaussures, et même un contrôle de la pronation ?

Cette utilisation a ainsi été très influencée par la mode de la course à pied pieds-nus popularisée par les champions olympiques Herb Elliott et Abebe Bikila en 1960 ou encore, plus récemment, par l'expérience de Michael Randall Hickman, un coureur de longue distance à la recherche de plus de spiritualité et de philosophie dans sa pratique de la course qui a partagé sa vie avec un groupe autochtone du Mexique, les tarahumaras, qui se déplacent essentiellement en courant avec des sandales légères (« les huaraches ») dans leurs déplacements quotidiens [6].

En 2009 Christopher McDougall a écrit le livre *Born to Run* qui s'inspire de l'expérience de Michael Randall Hickman auprès des tarahumaras et qui a été un vecteur important dans la diffusion de l'idée du « courir naturel » [7].

L'utilisation de ce type de chaussures entraînerait aussi des modifications dans la biomécanique de course.

C'est pourquoi les auteurs se penchent depuis quelques années sur le taux réel de blessures subies par les coureurs qui effectuent une transition de chaussures standard vers des chaussures minimalistes.

1.2 La course à pied

1.2.1 Généralités

L'Homme de la préhistoire a vécu dans un milieu hostile. Pour survivre, la course et notamment son endurance était une de ses armes.

L'homme n'était pas le plus rapide des mammifères mais bien plus endurant que la plupart des autres espèces. La course-à-pied a permis à l'Homo de chasser, il chassait par épuisement des animaux, poursuivait sa proie sans relâche et attendait son épuisement pour la tuer avec des pierres.

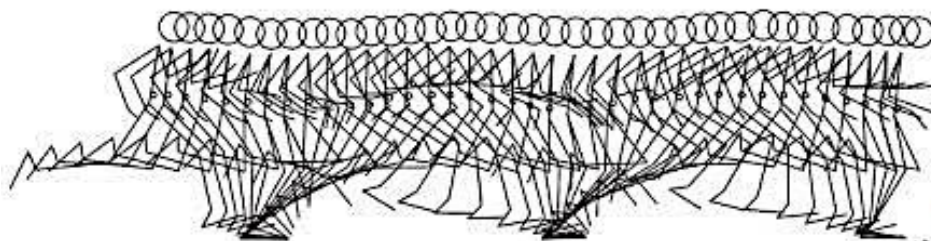
L'endurance a également et simplement permis à l'homme de se déplacer. L'Homo aurait alors voyagé sur de longues distances grâce à la marche et à la course-à-pied, afin d'explorer de nouvelles terres nécessaires à sa survie.

La course nous paraît donc innée ; mais la sédentarisation des populations des pays développés la rend cependant contraignante, difficile, et blessante.

Définition de la course :

« La course consiste en une succession de phases de vol, où le corps se situe en suspension dans l'air sans toucher le sol, et de courtes phases de propulsion unilatérales, où un seul pied touche le sol, et qui s'alternent à gauche puis à droite. » [8].

Figure 1.1 Kinogramme d'un cycle de course



1.2.2 Le cycle de la course

Un cycle de course se compose de deux foulées consécutives et symétriques : une foulée droite et une foulée gauche.

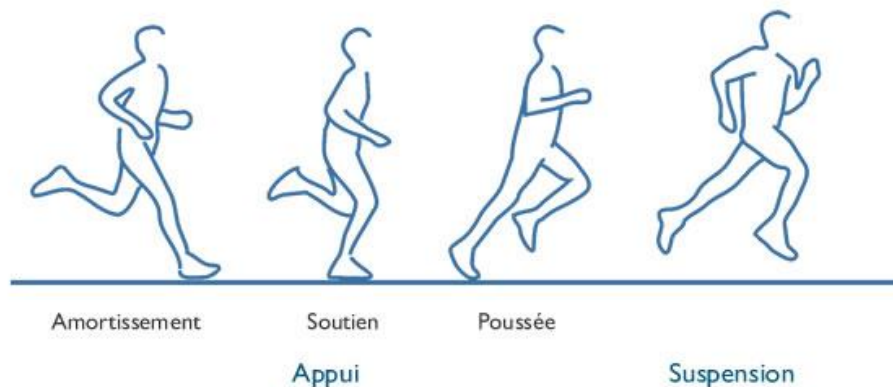
Ainsi, la foulée peut être définie par une mesure au sol de la distance entre deux appuis successifs. Par ailleurs, un cycle se compose de deux phases : une phase d'appui et une phase de suspension.

Le rapport de temps lors de la course à pied est d'environ 40% en phase d'appui et 60% en phase de suspension.

La phase d'appui se découpe en trois temps :

- un temps d'amortissement, (phase taligrade),
- un temps de soutien (phase plantigrade),
- et un temps de poussée ou de propulsion (phase digitigrade).

Figure 1.2 Les différents cycles de la course



La phase de suspension se définit lorsque les deux pieds ne sont plus en contact avec le sol. Dans le cas des foulées traditionnelles, l'amortissement débute à l'instant où le pied entre en contact avec le sol et se termine lorsque la projection du centre de gravité coïncide avec la verticale de l'appui.

Dès lors, des forces s'appliquent sur le corps du coureur:

- une force de soutien, dirigée vers le haut
- une force frénatrice, dirigée vers l'arrière.

La phase de soutien correspond au moment où le centre de gravité est à l'aplomb de l'appui au sol. Pendant ce temps de soutien, la force sert à soutenir le centre de gravité.

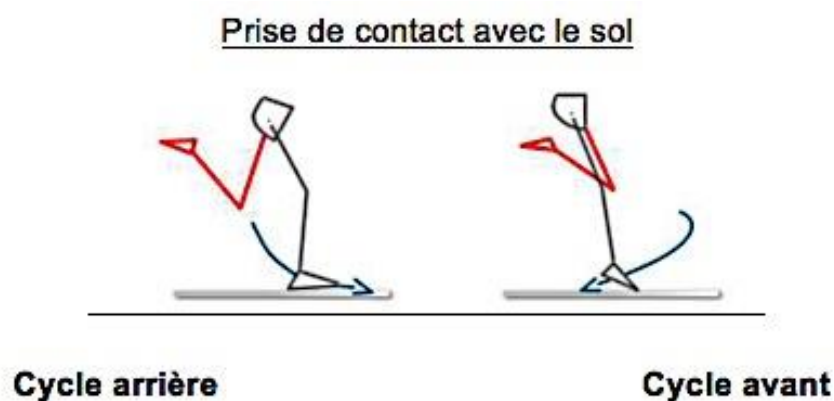
La phase de poussée vient après le temps de soutien et se termine quand le pied quitte le sol. Pendant ce temps de poussée, la force exercée par le coureur sur le sol est orientée dans le sens du déplacement. Elle est composée d'une force de soutien et d'une force accélératrice.

De plus, la foulée en course à pied peut se caractériser par sa fréquence [8]. La fréquence de foulée correspond au rapport du nombre de foulées en fonction d'un temps donné (nombre de foulées par seconde).

1.2.3 Les différents types de foulés

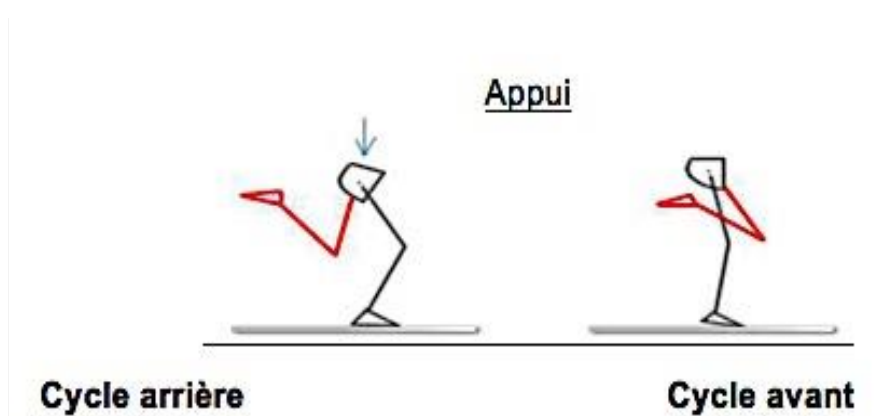
La foulée se décrit par le type de pose de pied, on peut distinguer le cycle avant et le cycle arrière.

Figure 1.3 Schéma du cycle avant et arrière lors de la prise de contact avec le sol



Cycle arrière	Cycle avant
Le pied entre en contact avec le sol souvent en talon, il a un mouvement d'arrière en avant et de haut en bas. Le pied vient se « planter » dans le sol. Le pied du coureur « arrière » fait de même. Le membre inférieur est fléchi. Le bassin est en antéversion c'est à dire que le haut du bassin basculé en avant, le bas du bassin fuit vers l'arrière.	Le pied entre en contact avec le sol en plante. Il a un mouvement d'avant vers l'arrière (griffé). Le membre inférieur est tendu. Le bassin est haut et placé.

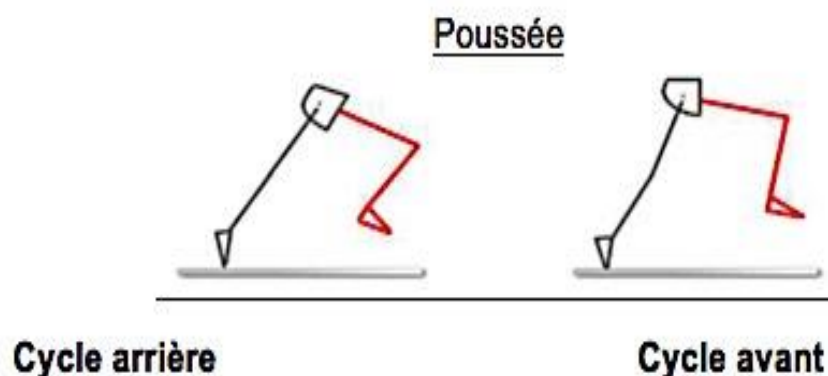
Figure 1.4 Schéma du cycle avant et arrière lors de la phase d'appui



Cycle arrière	Cycle avant
Le pied s'aplatit au sol. L'angle pied-tibia se ferme. Le pied est passif. Le membre porteur est en flexion. L'angle cuisse jambe se ferme.	Le pied est en appui sur la plante. Le membre porteur est en légère flexion. Il est solide, résiste à la force d'impact.

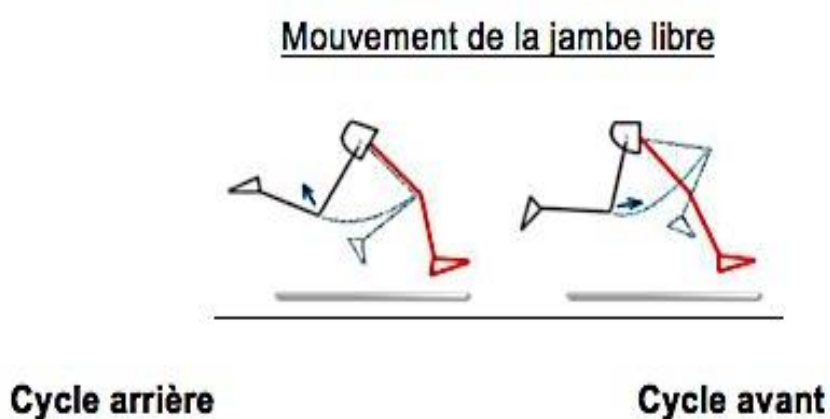
L'athlète a tendance à s'affaisser. Il ne résiste pas à la déformation. Le membre libre est en arrière du membre porteur. La fuite en arrière du bassin s'accroît. Le bassin est en antéversion.	Les articulations sont « bloquées » par la contraction musculaire. La cuisse du membre libre est en avant du membre porteur. Le bassin est haut et placé.
---	--

Figure 1.5 Schéma du cycle avant et arrière lors de la phase de poussée



Cycle arrière	Cycle avant
La poussée est complète. L'angle entre le segment inférieur et le sol est réduit, ce qui signifie que le membre inférieur est penché en avant comme l'est la face avant du bassin. Le membre libre n'a pas encore atteint son niveau le plus haut.	La poussée est moins nette, la jambe peut ne pas être complètement dans le prolongement de la cuisse. Le membre libre est prêt à engager son mouvement de retour vers le sol.

Figure 1.6 Schéma du cycle avant et arrière lors de la suspension



Cycle arrière	Cycle avant
<u>Première phase</u> : la jambe remonte, la cuisse s'élève vers l'arrière, la cuisse s'engage rapidement vers l'avant. <u>Deuxième phase</u> : le retour vers l'avant.	<u>Première phase</u> : la cuisse s'engage rapidement vers l'avant. <u>Deuxième phase</u> : le secteur balayé est situé très

Le secteur balayé d'arrière en avant par le genou est réparti également de part et d'autre d'un axe vertical passant par le bassin.	avant. En d'autres termes, le segment libre revient plus et plus vite vers l'avant.
---	---

Caractéristiques du cycle arrière :

Le coureur ne court généralement pas droit, il est plutôt penché en avant. Les jambes remontent loin derrière lui et le travail de quadriceps est essentiel. Avec de l'entraînement, l'avantage du cycle arrière est que le coureur semble dérouler sa foulée de manière économique, en effet le corps de masse bouge peu.

Le principal défaut de cette foulée tient à la position du buste penché en avant. Effectivement, dans cette posture, la projection au sol du centre de gravité du coureur tombe en avant du point d'appui, ce qui engendrerait des contractions musculaires supplémentaires (quadriceps, dorsaux), pour maintenir l'équilibre.

Caractéristiques du cycle avant

La trajectoire aérienne des jambes est répartie entre l'avant et l'arrière du coureur. Le pied ne pique pas mais longe le sol et la posture du coureur est droite. Pour que la foulée soit efficace cela signifie que la déformation de la jambe d'appui au niveau des articulations (cheville, genou, hanche) doit être minimale.

On comprend ainsi que le gainage devient un point majeur dans l'optimisation de la foulée car les abdos et dorsaux « en béton » vont permettre de renforcer la solidarité « bassin-tronc » notamment par une tonicité qui maintiendra un alignement des vertèbres lombaires.

1.3 Le chaussage

De nombreux types de chaussures de course existent d'un extrême, chaussure minimaliste à un autre extrême, chaussure maximaliste. On peut alors se demander qu'elles en sont les caractéristiques ?

Depuis une centaine d'années, l'industrie de la chaussure de sport, et plus particulièrement de la course à pied, a développé sans relâche cet outil qui semble indispensable à la pratique de ce sport (**Annexe 1**). Les pratiquants ont des objectifs différents mais les principaux sont la performance, le bien-être, et l'absence de blessures.

Le coureur fait face à une difficulté lors du choix de son chaussage. Les actes de conseils sont souvent délivrés par des commerciaux ou vendeurs plus ou moins renseignés sur le sujet. Or ce conseil relève de l'expertise, en effet la réponse au bon chaussage n'est pas simple. Chaque coureur doit recevoir une chaussure en fonction du terrain, de ses objectifs, de sa musculature et de sa propre biomécanique de course. De plus la course à la vente et toutes les stratégies marketing des fabricants ne facilitent pas ce choix.

Nous retrouvons les critères d'analyse d'une chaussure selon la « clinique du coureur » dans la figure qui suit [9].

Les chaussures sont classées selon leur indice minimaliste calculé à l'aide d'une échelle de 0 à 5 autour des cinq critères énoncés ci-dessous. Plus le score de la chaussure est élevé, meilleur sera son indice minimaliste.

Figure 1.7 Les différents critères d'analyse d'une chaussure selon la Clinique du Coureur

LES CRITÈRES



FLEXIBILITÉ

Mesure de la flexibilité longitudinale (plier la chaussure dans l'axe avant-arrière) et torsionnelle (tordre la chaussure vers la pronation) de la chaussure. Plus la chaussure est flexible, plus la note à l'Indice Minimaliste sera élevée.



POIDS

Résultat d'une chaussure placée sur une balance! Plus la chaussure est légère, plus elle obtiendra une note élevée sur cette échelle de l'Indice Minimaliste.



ÉPAISSEUR

Prise de mesure au talon, elle évalue la distance entre l'endroit où le pied est appuyé (centre du talon) et le point de contact au sol de la chaussure sous le talon. Plus la chaussure est mince, plus elle obtiendra une note élevée.



TECHNOLOGIES DE STABILITÉ

Décompte des technologies les plus communément incluses dans la chaussure et intégrées pour contrer la pronation. Moins la chaussure comporte de telles technologies, plus la note à l'Indice Minimaliste sera élevée.



DROP

Mesure de la différence entre l'épaisseur de la semelle au talon et celle à l'avant-pied (point d'appui du début des orteils). Plus la différence entre les deux mesures se rapproche de 0, plus elle obtiendra une note élevée.

Tableaux 1.1 Cotations selon les critères d'analyse de la chaussure (1/2)

Poids	Épaisseur du talon	Technologies de stabilité	Dénivelé (Drop)	Cotation
Moins de 125g	Moins de 8mm	Aucune	Moins de 1mm	5
125g – 175g	8mm – 14mm	1 technologie	1mm – 4mm	4
175g – 225g	14mm – 20mm	2 technologies	4mm – 7mm	3
225g – 275g	20mm – 26mm	3 technologies	7mm – 10mm	2
275g – 325g	26mm – 32mm	4 technologies	10mm – 13mm	1
325g et plus	32mm et plus	5 ou 6 technologies	13mm et plus	0

Tableau 1.2 Cotations selon les critères d'analyse de la chaussure (2/2)

Flexibilité (longitudinale)	Flexibilité (Torsionnelle)
2.5 = Résistance minimale à la déformation longitudinale (la chaussure peut être roulée sur elle-même sur plus de 360 degrés)	2.5 = Résistance minimale à la torsion (la partie antérieure de la chaussure est tournée sur 360 degrés; le dessous de la partie antérieure est orienté en inférieur après une torsion complète, pendant que la partie postérieure reste orientée vers le bas)
2 = Légère résistance à la déformation longitudinale (le bout antérieur de la chaussure atteint le bout postérieur de la chaussure, avec une déformation longitudinale maximale de 360 degrés)	2 = Légère résistance à la torsion (la partie antérieure de la chaussure est tournée d'au moins 180 degrés, mais à moins de 360 degrés; le dessous de la partie antérieure est orienté au moins vers le haut, pendant que la partie postérieure reste orientée vers le bas)
1.5 = Résistance modérée à la déformation longitudinale (le bout antérieur de la chaussure n'atteint pas le bout postérieur, mais un angle d'au moins 90 degrés est formé entre les parties antérieure et postérieure de la chaussure)	1.5 = Résistance modérée à la torsion (la partie antérieure de la chaussure est tournée d'au moins 90 degrés, mais à moins de 180 degrés; le dessous de la partie antérieure est au moins orienté vers le côté pendant que la partie postérieure reste orientée vers le bas)
1 = Forte résistance à la déformation longitudinale (un angle entre 45 et 90 degrés est formé entre les parties antérieure et postérieure de la chaussure)	1 = Forte résistance à la torsion (la partie antérieure de la chaussure est tournée au moins 45 degrés, mais à moins de 90 degrés; le dessous de la partie antérieure ne peut atteindre le côté pendant que la partie postérieure reste orientée vers le bas) 0.5 = Très forte résistance à la torsion (une déformation torsionnelle est possible, mais la partie antérieure de la chaussure atteint moins de 45 degrés)
0.5 = Très forte résistance à la déformation longitudinale (bien que la déformation longitudinale soit possible, un angle maximal de 45 degrés peut être formé entre les parties antérieure et postérieure de la chaussure)	0 = Résistance extrême à la torsion (les forces torsionnelles ne changent pas de façon significative l'orientation de la partie antérieure de la chaussure relativement à la partie postérieure)
0 = Résistance extrême à la déformation longitudinale (les forces appliquées ne changent pas de façon significative l'angle formé entre les parties antérieure et postérieure de la chaussure)	

1.4 La chaussure minimaliste

Jean-François Esculier et Blaise Dubois de La Clinique du Coureur ont voulu établir une définition de cette chaussure minimaliste par le biais d'une démarche scientifique [10]. En collaboration avec leurs collègues de l'Université Laval, ils ont fait appel à 42 experts provenant de 11 pays. Au terme de 4 rondes de questions, la définition suivante a été approuvée par 95% des experts participants :

« La chaussure minimaliste est une chaussure interférant minimalement avec les mouvements naturels du pied, de par sa grande flexibilité, son faible dénivelé, son faible poids, sa faible épaisseur au talon, et l'absence de technologies de stabilité et de contrôle du mouvement. »

Cette définition comprend le terme « naturel » [9]. La chaussure minimaliste tend à apporter à son utilisateur une biomécanique la plus proche possible du naturel, donc du pieds nus.

La définition laisse entendre qu'elle protège la plante du pied, sans empêcher son mouvement naturel. Des différences persistent entre ces deux modalités puisque, dans un souci de protection de la voûte plantaire, le coureur adopte des angles d'incidence du pas au niveau du genou et de la cheville différents.

Cependant, en considérant l'échelle de Esculier JF et al., [11] que nous appliquons à un pied nu, nous obtenons un indice minimaliste de 100%. Le point à considérer ici est que sur une échelle de 0% à 100%, le pied nu se rapproche grandement du minimalisme, en se plaçant à l'opposé du maximalisme.

De plus, les chaussures avec le moins de drop, et le moins de technologie sont celles qui miment au mieux la course pieds nus.

Ainsi, pour la suite de ce travail écrit, nous considérerons ce rapprochement entre la course pieds nus et la course en chaussures minimalistes. Il existe actuellement de nombreuses chaussures répondant à la définition de minimaliste.

1.5 Blessures liées à la course à pied

Chez les coureurs, que ce soit en raison d'une mauvaise préparation au stress physique, d'un problème biomécanique ou encore d'un surentraînement, le corps, sollicité de façon répétée lors de la course, peut mener à différents traumatismes ou blessures.

On recense 11 à 85% des coureurs récréatifs subissent une blessure liée à la course à pied chaque année et 30 à 90% des blessures mènent à la réduction de l'entraînement voir à l'arrêt de la pratique.

Les blessures liées à la course à pied touchent principalement les membres inférieurs. Plusieurs études (notamment Kemler et son équipe et Van Gent et son équipe [12]) ont montré que la majorité des blessures résidaient au niveau du genou (syndrome fémoro-patellaire, syndrome de l'essui-glace, tendinopathie rotulienne...), puis au niveau de la jambe (périostite, fracture de fatigue...), de la cheville (tendinopathie du tendon d'Achille, entorse...) et enfin au niveau du pied (métatarsalgie, fracture de stress, fasciopathie plantaire, névrome de Morton...). La hanche serait l'articulation du membre inférieur la moins touchée par les blessures liées à la course à pied.

Les causes des blessures liées à la course à pied restent encore incertaines, cependant, de nombreuses études montrent que les forces d'impact importantes subies lorsque le pied entre en contact avec le sol seraient à l'origine de nombreuses blessures. L'importance de la force



de réaction au sol et le pic d'impact vertical ont récemment été associés à un risque accru de blessures chez les coureurs ayant des antécédents de fractures de stress tibial, de douleurs fémoro-patellaire et de fasciite plantaire [13].

En raison de ces taux élevés de blessures, l'industrie des chaussures de sport a travaillé sur la conception de produits visant à diminuer le risque de blessure. Ainsi, au cours des 30 dernières années, les chaussures de course ont connu de nouvelles adaptations et de nombreux éléments qui peuvent varier d'une chaussures à l'autre.

1.6 Problématique

Comme nous l'avons vu dans l'étude (clinique coureur), près de la moitié des coureurs expérimentent une blessure chaque année. Le corps étant sollicité de façon répétée aux mêmes endroits, certaines d'entre elles sont particulièrement observées dans ce sport.

Le port de la chaussure minimaliste peut jouer sur ce pourcentage. Notre travail a ainsi pour but d'évaluer le risque que représente le port de ce chaussage en s'insérant dans une réflexion pour la prévention des blessures.

En tant que futur thérapeute, connaître le risque encouru, la localisation préférentielle des blessures et des douleurs lors de la course avec chaussure minimaliste permet de mieux conseiller un patient quant à son chaussage.

De manière tout aussi primordiale, face aux coureurs blessés, connaître l'influence des chaussures minimalistes sur le risque de blessures permettra au thérapeute d'ajouter à sa prise en charge des conseils en ce qui concerne le type de chaussures à adopter lors de la reprise de la course.

Ainsi au vu de tous les critères entrant en jeu nous venons à nous demander :

Quels sont les effets engendrés par le chaussage minimaliste chez le coureur à pied ?

1.7 L'importance et objectif d'une telle revue

Il est vrai que dans le monde de la médecine du sport, l'étiologie des traumatismes et des pathologies est un secteur très développé.

Les raisons d'une telle revue sont multiples :

Tout d'abord, le sport est un facteur de risque à part entière et ce, même si certains sont plus à risques que d'autres. Selon l'inserm, 34 millions soit plus de la moitié de la population française a une activité physique plus ou moins régulière, le nombre de personnes concernées par cette revue est donc indéniable.

De manière globale, une somme d'argent conséquente est déboursée quotidiennement ce qui engendre un coût de santé publique non négligeable. En effet, en tant que praticien de santé, si cela est dans notre champ de compétences, il est de notre devoir d'aider à réduire ces dépenses.

De manière plus significative en tant que soignant, nous savons que le traitement spécifique des blessures chez le coureur permet une bonne récupération musculaire et de prévenir des séquelles de douleurs chroniques, d'impotences fonctionnelles, de troubles de la marche et d'instabilités chroniques favorisant les récides de blessures.

Par conséquent pour le corps médical mais aussi pour les sportifs, il paraît intéressant de réaliser une revue de littérature qui vise à connaître l'impact du chaussage minimaliste quant aux blessures, à la modification de la biomécanique de course ou encore les douleurs du coureur à pied.

2. MÉTHODE

2.1 Critères d'éligibilité des études pour cette revue

2.1.1 Types d'études

L'objectif de cette revue de littérature est de s'interroger sur l'impact de la chaussure minimaliste chez le coureur à pied comparé à un chaussage maximaliste.

Les articles qui sont retenus pour cette étude sont des essais cliniques randomisés (ou RCTs¹).

2.1.2 Population

Les personnes recherchées étaient des hommes ou des femmes majeurs pratiquant la course à pied en club ou de manière récréatives sans pathologies associées.

2.1.3 Intervention

Lors de la pratique d'un sport le choix du matériel utilisé influe sur la qualité de l'acte. Ici, le choix du chaussage correspondra à notre intervention.

On comparera donc deux chaussages opposés qui influent sur la biomécanique de course.

Dans le but d'étudier le lien entre le port de chaussure minimaliste lors de la course et la survenue de blessures chez le coureur à pied, les résultats retenus porteront sur la survenue de blessures mais aussi les conséquences des chaussures minimalistes sur plusieurs paramètres susceptibles d'être responsable de la survenue de blessure.

2.1.4 Les critères de jugement

Les critères de jugement doivent être pertinents au vu de la question posée.

En effet nous observerons, selon les différents chaussages :

- la survenue d'une blessure
- les modifications biomécaniques de la course
- les contraintes et pressions articulaires
- la douleur

2.2 Méthodologie de recherche des études

2.2.1 Sources documentaires investiguées

La recherche des études éligibles a été effectuée sur différentes bases de données électroniques médicales : **Pubmed** [14], The **Cochrane Library** [15], [16], **PEDro** , la **clinique du coureur** [17].

Le moteur de recherche **Google scholar** [18] répertoriait lui aussi des articles pertinents mais

¹ *Randomised Controlled Studies*

la plupart se trouvaient être des doublons des articles trouvées sur les bases de données électroniques.

S'ajoutant aux articles retenus pour cette revue de littérature, des documents utiles (revues d'articles, avis d'experts, conférences...) à la rédaction de l'introduction et à la compréhension de la biomécanique de course et de l'influence du chaussage étudiés ont pu être récoltés sur ces mêmes bases de données.

2.2.2 Équation de recherche utilisée

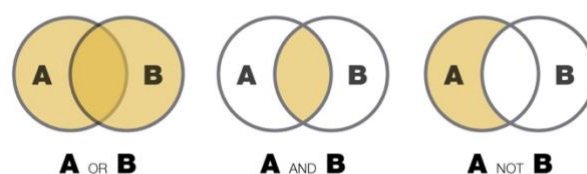
Afin de maximiser la quantité d'articles pertinents, une traduction des mots clefs a été réalisée grâce à l'outil **MeSH**, mis à disposition par l'INSERM (le MeSH est un répertoire de termes de références dans le domaine biomédical) [19]. Ce site permet une traduction d'un terme en français en son mot-clé français et anglais, permettant d'élargir alors l'échantillon d'articles récupéré sur les bases de données.

Le terme « coureur » a été traduit par « runner », « running » ; le terme « blessures » a été traduit par « pressures », « contraint » ; et le terme « chaussage » a été traduit par « shoes », « minimalist », « maximalist ».

En s'appuyant sur le modèle PICO [20], la question de recherche a pu être formulée. Les équations diffèrent selon les bases de données que nous avons choisies.

Il existe des outils adaptés pour la recherche documentaire qui permettent d'orienter cette dernière. Cela nous permet d'éviter le "bruit" (données hors sujet) ou, au contraire le "silence" (nombre insuffisant de résultats répondant à notre question). Ces outils sont appelés des opérateurs booléens.

Figure 2.1 Les opérateurs booléens



Une fois tous nos outils en main nous pouvons formuler l'équation de recherche en fonction de notre problématique et de la base de données.

Notre équation de recherche de base : (Minimalist) OR (Simulated Barefoot) OR (Barefoot Running Shoes) AND (Shoes) OR (Footwear) AND (Running) AND (Injury)

Tableau 2.1 Tableau PICO

POPULATION	Hommes et femmes Coureurs amateurs / réguliers / confirmés Majeurs Sans pathologies associées
INTERVENTION	Chaussure minimaliste
COMPARAISON	Chaussure maximaliste / conventionnelle
OUTCOME	Blessures Biomécanique de course Contraintes articulaires et pressions plantaires Douleurs

Pubmed → (Minimalist) OR (Simulated Barefoot) OR (Barefoot Running Shoes) AND (Shoes) OR (Footwear) AND (Running) AND (Injury)

Cette base de données est la plus importante en termes du nombre d'articles disponibles. En suivant la méthodologie de recherche du modèle PICO, l'utilisation de parenthèses et d'opérateurs booléens sur cette base est obligatoire pour trouver les articles répondant à notre problématique et ainsi éviter le « bruit » ou le « silence ».

Ainsi nous obtenons l'équation un total de 26 articles.

COCHRANE Library → (Injuries) and (minimalist) and (runner)

En suivant la même méthodologie, la recherche a aussi été faite en anglais sur cette base de données. Nous obtenons ainsi **18 articles** sur cette base de données.

PeDro → (injuries) and (minimalist) and (running)

Toujours en suivant la même méthodologie et le même modèle (PICO) nous obtenons un total de 3 articles.

Au total 47 articles sont donc collectés à la suite de ces recherches.

2.3 Méthode d'extraction et d'analyse des données

2.3.1 Sélection des études

La première étape de la sélection a été de **proscrire les articles publiés il y a plus de 10 ans** afin de s'appuyer sur les données d'actualité. Qui plus est, cela a permis de réduire le nombre de recherches à traiter lors de la sélection.

Un total de 50 articles était disponible pour potentiellement répondre à notre problématique.

La deuxième étape de la sélection a consisté à **supprimer les articles dits en « doublons »**. Les articles retrouvés plusieurs fois dans les différentes bases de données, ou parfois même retrouvés plusieurs fois dans la même base de données ont été bien évidemment retirés.

Une fois les doublons écartés nous pouvons effectuer la troisième étape de la sélection sur les articles restants.

La troisième étape, a été réalisée en 2 temps. Dans un premier temps, la sélection a été effectuée par la **lecture du titre** : si un article avait l'air de répondre à notre problématique, celui-ci était mis de côté.

Dans un second temps l'article était **consulté dans sa totalité**. L'abstract était lu, et si celui-ci correspondait à notre sujet, nous procédions à la vérification de certains critères.

A la fin de cette étape, plus que 9 articles étaient potentiellement éligibles pour notre revue.

2.3.2 Extraction des données

L'extraction des données a été opérée sous forme de tableaux des caractéristiques pour chaque étude incluse. Ces tableaux regroupent les critères PICO de chaque étude de la manière la plus claire et synthétique possible pour permettre une comparaison rapide des résultats de chacune d'entre elles.

2.3.3 Évaluation de la qualité méthodologique des études sélectionnées

Les études ont été évaluées à l'aide de **l'échelle PEDro** qui est l'une des échelles les plus appropriées pour étudier la validité interne des études randomisées. La validité interne porte sur la capacité clinique d'avoir un maximum de biais (sinon d'avoir un résultat le plus juste possible...). Il faut garder à l'esprit qu'un bon score PEDro ne garantit pas que les résultats soient fiables à 100%. Il nous renseigne sur la fiabilité et la validité des résultats.

2.3.4 Méthode de synthèse des résultats

Notre synthèse a débuté par l'extraction des caractéristiques ainsi que des résultats propres à chaque étude, nous avons donc dressé un tableau présentant chaque article.

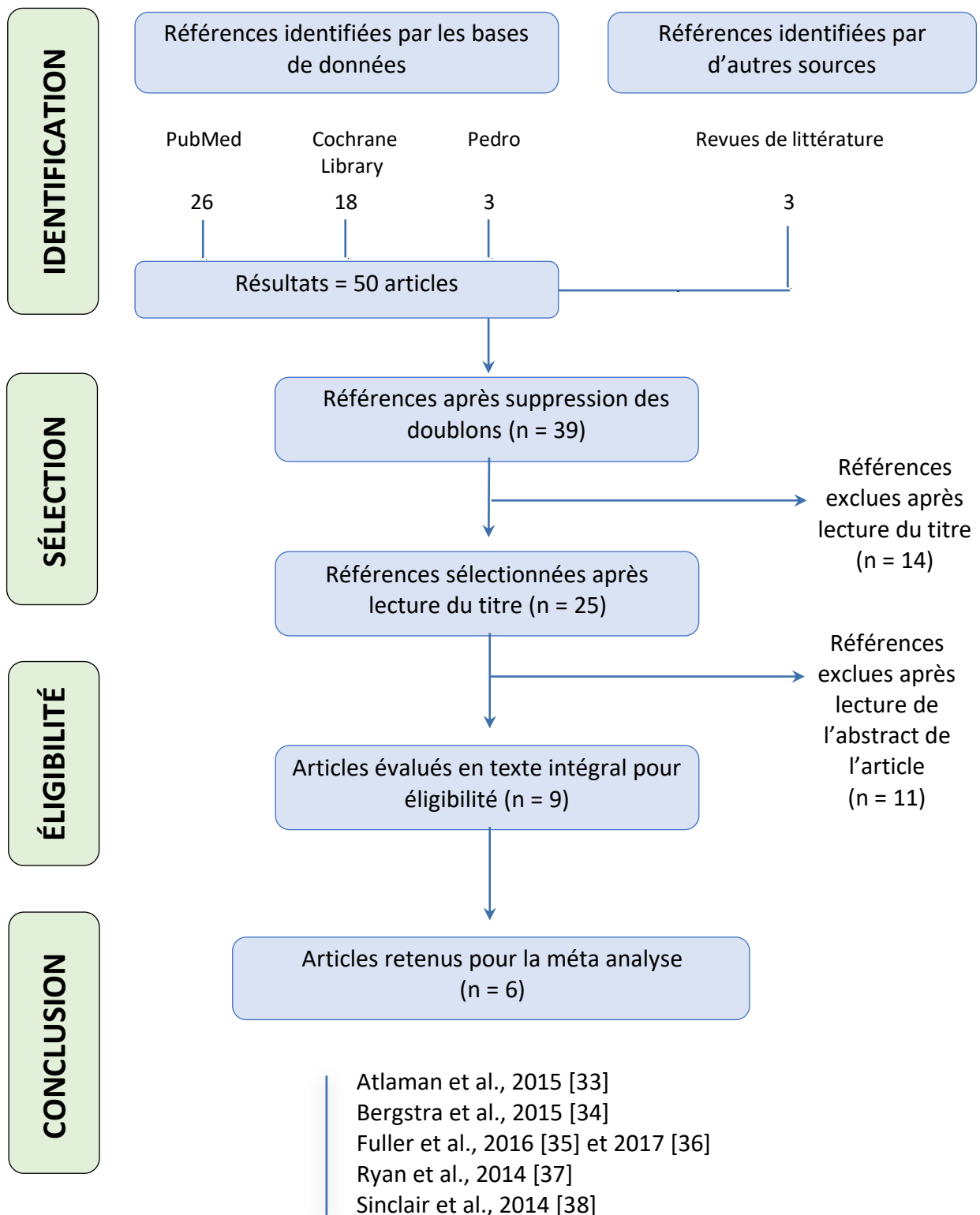
Les résultats obtenus seront synthétisés sous forme de tableau résumant chaque article. Les résultats intragroupes et intergroupes de chaque article seront donnés. Un tableau donnant les notes sur la grille PEDro de chaque article inclus sera lui aussi exposé.

3. RÉSULTATS

3.1 Description des études

3.1.1 Diagramme de flux

Figure 3.1 Diagramme de flux des études sélectionnées pour la réalisation de la revue



3.1.2 Études exclues

Après avoir exploré nos bases de données, écarté les études de plus de 10 ans et supprimé les doublons, 39 articles nous sont alors proposés. Afin que nos références répondent au mieux à notre problématique, des étapes de sélection ont été mises en place.

1^{ère} étape : Sélection par lecture du titre

Cette sélection nous a permis de faire un tri assez rapide sans pour autant écarter des articles qui pourraient être intéressants. Les études dont la thématique abordée, le design ou la population étudiée ne répondaient pas à nos critères dès l'annonce du titre étaient d'ores et déjà écartées.

Ainsi nous nous retrouvons avec 25 références à inclure potentiellement dans notre synthèse qualitative.

2^{ème} étape : Sélection par consultation de l'abstract

Il arrive que sur les bases de données, l'abstract proposé ne soit pas le même que celui présent au début des versions intégrales de l'article. Les 11 références restantes ont alors été consultées dans leur intégralité.

3^{ème} étape : Sélection par consultation de l'article dans sa totalité

Si l'étude avait l'air de répondre à tous nos critères, elle était consultée dans sa totalité, sinon elle était exclue.

À cette étape 9 articles ont été évalués pour éligibilité, mais en finalité, 6 articles ont été retenus pour la méta analyse.

Tableau 3.1 Caractéristiques des 3 études exclues (classées par ordre alphabétique)

Études	Raison d'exclusion
Malisoux et al., 2017 [21]	Les critères de jugement ne correspondaient pas
Lewinson et al., 2017 [22]	L'intervention et les critères de jugement ne correspondaient pas
Hollander et al., 2019 [23]	L'intervention ne correspondait pas

3.1.3 Études incluses

3.1.3.1 *Atlaman et al., 2015*

Cette première étude est un ECR. L'objectif de cette étude était de comparer l'incidence et le taux de blessures entre les coureurs pieds nus et les coureurs pieds chaussés. Cette enquête prospective a été menée pendant un an auprès de 201 coureurs adultes (107 pieds nus et 94 chaussés).

➤ **Population**

Pour se faire, les investigateurs ont recruté 201 coureurs, entre 18 et 50 ans, qui couraient plus de 10 miles soit environ 15 km par semaine et avaient couru pendant plus de 6 mois avant de participer à l'étude.

➤ **Protocole**

Les coureurs pieds nus devaient courir au moins 50% de leur kilométrage annuel pieds nus. Les 50% restants devaient être effectués dans de véritables chaussures minimalistes, caractérisées par l'absence de soutien de la voûte plantaire, de renfort au talon et de semelle intermédiaire.

Les coureurs ont été inscrits dans une base de données en ligne et ont reçu un lien vers un système d'enquête en ligne sécurisé, après avoir donné leur consentement éclairé. Ils ont également dû fournir des informations concernant leurs antécédents de course, leur kilométrage et leurs blessures.

En plus de la localisation et du diagnostic de la blessure, ils ont indiqué les soins médicaux, le diagnostic reçu, les chaussures portées et l'activité pendant la blessure.

➤ **Mesures et résultats**

Les blessures recueillies ont été divisées en trois groupes :

- les blessures musculo-squelettiques (localisation)
- le sous-ensemble de blessures musculo-squelettiques qui ont été diagnostiquées par un clinicien, tel qu'un médecin, un kinésithérapeute ou un entraîneur sportif, afin de fournir un diagnostic valide
- les blessures abrasives de la surface plantaire (PL) du pied, y compris les coupures, les contusions et les ampoules

En moyenne, ils ont couru environ 10 miles (15 km)/semaine tout au long de l'étude.

3.1.3.2 *Bergstra et al., 2015*

Cette deuxième étude est un ECR, dont l'objectif était d'examiner les différences de pression plantaire dans la région de l'avant-pied entre la course avec chaussures minimalistes et la course avec chaussures standards chez des coureuses en bonne santé. Cette étude a été réalisée sur une durée de 7 semaines.

➤ Population

Pour se faire, des mesures de la pression plantaire dans la chaussure ont été enregistrées chez 18 coureuses en bonne santé. Ces coureuses d'endurance expérimentées ont été recrutées pour participer à l'étude en contactant deux clubs d'athlétisme locaux. Elles devaient avoir entre 18 et 55 ans, être en bonne santé, ne pas avoir d'antécédent, de problème cardiovasculaire et ne pas avoir subi, au cours des 12 derniers mois, de blessure aux extrémités inférieures affectant la course au moment de la mesure.

➤ Protocole

Les participantes devaient courir au moins deux fois par semaine pendant plus de 5 km par séance d'entraînement. Toutes les participantes ont signé un formulaire de consentement éclairé.

Une assignation au hasard à 6 ordres différents de 3 conditions de chaussures (pieds nus, chaussures minimalistes et chaussures standards) selon un plan croisé à 3 voies a été réalisé. Dans cette étude, uniquement les données de pression plantaire ont été évalué pour les chaussures de course standard et les chaussures de course minimaliste ont été mesurées.

Toutes les participantes ont bénéficié d'une période d'accommodation de 10 minutes pour chaque paire de chaussures tout en courant sur un tapis roulant. Après la période d'adaptation, elles ont été équipés de semelles flexibles pour mesurer la pression plantaire dans la chaussure. Les semelles avaient une épaisseur de 1,8 mm et comprenaient chacune 99 capteurs de pression. Avant la collecte des données, les semelles ont été placées dans les chaussures et ont été calibrées conformément au manuel du fabricant.

➤ Mesures et résultats

Les données de pression ont été mesurées bilatéralement avec une fréquence de 100 Hz et ont été transférées par câble à un ordinateur via Bluetooth®. Les données cinématiques ont été enregistrées avec le système de capture de mouvement Vicon®¹ et utilisées pour déterminer la vitesse de course.

Toutes les mesures ont été effectuées sur une piste de 22 m de long (course sur le sol). Pendant les mesures, la vitesse de course a été surveillée par deux cellules photoélectriques placées à 4 m de distance au milieu de la piste. Avant la collecte des données, cinq essais de course ont été effectués pour déterminer la vitesse de course confortable du participant.

Pendant les mesures réelles, la vitesse de course était maintenue à $\pm 5\%$ de cette vitesse prédéterminée. La pression plantaire a été mesurée pendant cinq essais de course, pour les deux types de chaussures. Immédiatement après ces mesures, le confort de la chaussure a été

¹ VICON® est le leader mondial des systèmes de capture de mouvement dans les domaines de la santé, du divertissement et de l'ingénierie.

évalué à l'aide d'une échelle visuelle analogique (EVA) et le type d'atterrissage a également été analysé.

Le logiciel Pedar®² medical professional a été utilisé pour l'analyse des données. Seules les données du pied dominant (défini comme le pied que le participant utilise pour taper dans un ballon) ont été prises en compte.

En conclusion, plusieurs facteurs ont été évalués : la pression de pointe (kPa³), la pression moyenne maximale par région (kPa.s⁻¹), l'intégrale du temps de pression (kPa) et la pression de pointe à un instant t. Ces critères de jugement ont tous été évalués pour les sept zones du pied.

De plus, l'intégrale force-temps (N.s⁻¹)⁴ a été mesurée pour l'ensemble du pied. Ce paramètre peut fournir des informations supplémentaires sur les changements possibles de la force totale de réaction du sol pendant la phase d'appui. Le temps d'appui (m.s⁻¹)⁵ et le temps de foulée (m.s⁻¹) ont également été étudiés pour obtenir des informations sur l'impact de ces paramètres sur la pression plantaire.

3.1.3.3 Fuller et al., 2016 et 2017

L'auteur Fuller et son équipe ont réalisé 2 ECR. Un en 2016 ayant pour sujet l'analyse du type de foulée adoptée et la répartition du travail mécanique sur genoux et chevilles pendant la course à vitesse rapide avec chaussures minimalistes. Un deuxième en 2017 ayant pour objectif de comparer les douleurs et les blessures liées à la course à pied entre les chaussures minimalistes et conventionnelles chez des coureurs entraînés et étudier les interactions entre le type de chaussures, la masse corporelle et la distance d'entraînement hebdomadaire.

➤ Population

Dans l'article de 2016, 26 coureurs de fonds entraînés masculins d'un âge moyen de 30 ans sont recrutés.

Dans l'article de 2017, 61 coureurs de fonds entraînés masculins d'un âge moyen de 27 ans sont recrutés.

Les critères d'inclusion et d'exclusion sont similaires dans les 2 articles.

Critères d'inclusion	Critères d'exclusion
Courir au moins 15 km par semaine. Capables de réaliser un contre-la-montre sur tapis roulant de 5 km (5TT) en ≤ 23 min.	Ont des antécédents de chirurgie invasive au niveau du dos, du bassin ou des extrémités inférieures au cours de l'année précédente.

² Le système PEDAR® est un système de mesure de distribution précise et fiable de pression pour surveiller les charges locales entre le pied et la chaussure

³ Le kilopascal (kPa) est une unité de pression, le kPa.s⁻¹ est une unité de pression par un temps.

⁴ Le newton par seconde (N.s⁻¹) est une unité de force par un temps.

⁵ Le mètre par seconde (m.s⁻¹) est une unité de distance par un temps.

S'entraînent avec des chaussures de course conventionnelles. Pas d'expérience préalable de la course dans des chaussures dont l'amortissement, la hauteur du drop et la masse sont réduits. Courent avec un schéma de foulée arrière (attaque talon). Ne présentent aucune blessure musculo-squelettique actuelle ou récente (< 3 mois).	S'ils utilisent des orthèses dans leurs chaussures de course, car les orthèses ne s'adapteront pas à l'intérieur de la chaussure minimaliste.
---	--

➤ **Protocole**

Dans l'article de 2016, le protocole consiste en une course sur piste à 18 km/h, avec 5 essais, en prenant en compte l'essai réussi comme un essai au cours duquel la totalité de la surface du pied entrain en contact avec la plaque de force à la vitesse de course prescrite sans modification évidente de la démarche.

Dans l'article de 2017, les participants se sont présentés au laboratoire d'exercice une semaine avant la date prévue de leur entrée en fonction pour effectuer un essai chronométré de 5 km sur un tapis roulant motorisé en portant leurs propres chaussures. Les participants ont été répartis au hasard dans le groupe de chaussures (conventionnelles ou minimalistes) par un processus de minimisation⁶, la performance au cours du contre-la-montre étant utilisée comme variable de minimisation.

Les coureurs de chaque groupe ont progressivement augmenté le temps passé à courir avec les chaussures qui leur avaient été attribuées (conventionnelles ou minimalistes) et diminué le temps passé à courir avec leurs chaussures de course normales pendant 26 semaines.

Les coureurs ont donc effectué une transition standardisée vers des chaussures minimalistes et ont subi des évaluations au début de l'étude, à 6 et 26 semaines.

L'allocation des participants a été effectué par l'un des investigateurs qui n'a pas été impliqué directement dans la collecte des données.

➤ **Mesures et résultats**

Il n'a pas été possible d'aveugler les évaluateurs des résultats quant à la condition des chaussures des participants pendant les tests. Les résultats seront répertoriés dans des logiciels (Nexus⁷, Vicon®).

⁶ La randomisation par minimisation offre la seule alternative acceptable à la randomisation simple et restreinte et est plus efficace pour équilibrer les attributs collectifs des groupes d'intervention dans de petits échantillons que les méthodes traditionnelles de randomisation.

⁷ Nexus est une plateforme de gestion de dépôts, permettant d'héberger des artefacts.

➤ **Paramètres étudiés et outils utilisés**

Fuller et al., 2016	Fuller et al., 2017
- Cinématique plan sagittal - Travail articulaire genou, cheville - Type de foulée - Analyse du mouvement : caméras vidéo à haute vitesse - Force de réaction : plateforme de force	- Douleurs : toutes les semaines - Constat et traitement des blessures - Douleur évaluée par EVA⁸

3.1.3.4 *Ryan et al., 2013*

Cette quatrième étude est un ECR. Le but principal de cette étude était d'analyser l'effet d'une augmentation progressive du minimalisme des chaussures sur l'incidence des blessures et la perception de la douleur chez les coureurs récréatifs.

➤ **Population**

Pour être inclus dans l'étude les patients, au nombre de 103, étaient des adultes (hommes et femmes) âgés de 19 à 50 ans.

Critères d'inclusion	Critères d'exclusion
Au moins 5 ans d'expérience de la course à pied. Couraient régulièrement (au moins une fois par semaine) au cours des 6 derniers mois. Étaient capables de courir pendant 60 minutes sans interruption et pouvaient tolérer un programme d'entraînement de 20 à 40 km par semaine. Ne présentaient aucune blessure liée à la course à pied nécessitant un arrêt de l'entraînement pendant 2 semaines ou plus au cours des 6 derniers mois.	Avaient des antécédents de chirurgie du fascia plantaire ou du tendon d'Achille. Elles avaient reçu un diagnostic d'arthrose ou d'un autre trouble musculo-squelettique dégénératif affectant le membre inférieur ou si elles prenaient actuellement des médicaments analgésiques. Les personnes qui utilisent déjà des chaussures de course minimalistes.

⁸ Échelle Visuelle Analogique

➤ **Protocole**

Au cours de l'évaluation initiale, un historique détaillé de l'entraînement et des blessures a été réalisé, comprenant des informations sur l'expérience de la course à pied, le meilleur temps d'arrivée des 10 km, semi-marathons et marathons précédents (si disponible), le nombre total et le type de blessures musculo-squelettiques générales et/ou de blessures liées à la course à pied, ainsi que la marque et le modèle des chaussures de course précédentes.

Les coureurs ont été répartis selon :

- Chaussure neutre (Nike Pegasus 28) : 34 coureurs
- Chaussure partiellement minimaliste (Nike Free 3.0 V2) : 34 coureurs
- Chaussure Minimaliste (Vibram 5-Finger Bikila) : 35 coureurs

Après une période d'adaptation d'une semaine aux chaussures qui leur ont été attribuées, les participants ont commencé un programme d'entraînement à la course à pied de 12 semaines conçu par les auteurs et visant une course de 10 km. Le programme a suivi une augmentation progressive du nombre total de minutes de course, de 160 min la première semaine à un pic de 215 min.

Les participants n'ont pas toujours couru avec les chaussures qui leur étaient attribuées, mais ont plutôt connu une augmentation graduelle de l'exposition en pourcentage de leur temps de course hebdomadaire total.

Le programme comprenait trois à quatre séances de course à pied par semaine, avec une course en groupe plus longue le week-end et un entraînement par intervalles au milieu de la semaine. Les entraînements des 2 ou 3 semaines étaient basés sur le temps, tandis que la longue course du week-end était basée sur la distance, afin de s'adapter à différents rythmes d'entraînement tout en assurant une préparation adéquate pour l'épreuve des 10 km.

La course en groupe a été mise en place pour offrir aux participants un environnement d'entraînement positif et une opportunité de poser des questions sur leur entraînement ou d'autres aspects de la course à pied afin d'optimiser la conformité. La distance parcourue au cours d'une séance d'entraînement variait en fonction du rythme de course, mais il a été estimé que le volume hebdomadaire commençait à environ 15 km et augmentait jusqu'à 30-40 km au plus fort du programme.

➤ **Mesures et résultats**

Les variables de résultats d'intérêt dans cette étude comprenaient :

- le nombre de blessures, défini comme trois séances consécutives d'entraînement à la course manquées en raison de douleurs liées à la course.
- l'indice FADI⁹.
- l'échelle visuelle analogique (EVA) de 100 mm pour la douleur associée à la course

⁹ L'indice d'invalidité du pied et de la cheville (FADI) est une auto-évaluation de la fonction spécifique à une région.

- la douleur EVA de 100 mm spécifique à la localisation anatomique associée à la course au niveau du pied, de la jambe inférieure, du genou, de l'aine/du bassin et du bas du dos.

Les variables de résultats ont été évaluées au début de l'étude, après 2, 4, 8 semaines et, pour la comparaison primaire, à la fin du programme de course à pied à la semaine 12.

Toutes les données ont été saisies sur un ordinateur personnel et analysées à l'aide du logiciel statistique PASW ¹⁰. Une approche d'analyse en intention de traiter a été utilisée pour comparer les effets d'une chaussure à ceux des autres.

3.1.3.5 Sinclair et al., 2014

Cette cinquième étude est un ECR, les auteurs ont cherché à examiner la charge du genou et de la cheville dans les chaussures pieds nus et inspirées des pieds nus par rapport aux chaussures de course conventionnelles.

➤ **Population**

Ce sont 30 coureurs amateurs masculins qui pratiquent la course à pied au moins trois fois par semaine qui ont été recrutés. Ils avaient environ 26 ans. Les participants étaient tous exempts de pathologie au moment de la collecte des données et ont fourni un consentement éclairé par écrit.

➤ **Protocole**

Les participants ont effectué dix essais de course sur une passerelle de 22 m à une vitesse de 4,0 m.s⁻¹ soit environ 14,4 km/h dans un laboratoire de biomécanique. Les participants frappaient avec leur pied droit une plate-forme de force intégrée, échantillonnée à 1000 Hz. La vitesse de course a été surveillée à l'aide de portes de chronométrage à infrarouge.

➤ **Mesures et résultats**

Un système de capture de mouvement à huit caméras a été utilisé pour recueillir la cinématique 3D. Les données cinématiques et de force de réaction au sol synchronisées ont été obtenues à l'aide du logiciel Qualisys Track Manager ¹¹ avec une fréquence de capture de 250 Hz.

Les différences entre les paramètres de charge du genou et de la cheville dans les différentes conditions de chaussage ont été examinées à l'aide d'une ANOVA ¹² à mesures répétées à sens unique.

¹⁰ Predictive Analytics Software (PASW) est un logiciel utilisé pour l'analyse statistique.

¹¹ Qualisys Track Manager (QTM) est un logiciel de capture de mouvement.

¹² ANOVA (analysis of variance) est un ensemble de modèles statistiques utilisés pour vérifier si les moyennes des groupes proviennent d'une même population

L'étude Sinclair et al., 2014 a été détaillée et utilisée pour cette présente revue, de plus Sinclair ayant réalisé des études à ce sujet de 2013 à 2016, l'ensemble de ses études seront utilisées.

Résumé des articles en **Annexe 2**.

3.2 Risque de biais des études incluses

L'objectif premier de cette revue de littérature est de faire une analyse mais aussi une critique de ce qui se dégage de la bibliographie. Pour cela, une simple lecture des articles, des résultats et des conclusions avancées par les cliniciens menant ces essais n'est pas suffisante.

En effet, pour pouvoir discuter des résultats présentés, il est nécessaire dans un premier temps d'étudier la méthodologie employée pour répondre à la question clinique. La rigueur méthodologique peut s'étudier notamment avec l'utilisation de grilles d'évaluation adaptées.

Ces dernières permettent de mettre en évidence les biais et les limites des articles scientifiques. Elles sont importantes afin de faire une interprétation fine des conclusions qui sont avancées. Tout ceci sera développé ultérieurement.

3.2.1 Grille d'analyse utilisée

La grille d'évaluation choisie est **l'échelle PEDro** (Annexe 3). Elle permet d'aider les utilisateurs à rapidement identifier les études ayant des qualités méthodologiques importantes. Ainsi, on vérifie la solidité de la mise en œuvre clinique avant de faire une analyse plus poussée des résultats et des conclusions.

Étant donné que les essais cliniques contrôlés randomisés sont la meilleure façon d'évaluer l'efficacité des interventions en santé, et que la grille PEDro est faite pour ce type d'essai, elle est parfaitement adaptée pour mesurer la qualité des ECR de cette revue. De plus, les ECR examinant l'efficacité des interventions dans le domaine de la kinésithérapie sont plus difficilement réalisables en triple insu. L'échelle PEDro permet de moins pénaliser ces derniers.

Elle est composée de 11 items. Le premier permet de souligner la validité externe¹³, c'est-à-dire de s'intéresser plus particulièrement à la population étudiée mais aussi de prendre en compte les sujets exclus. Cet item permet de savoir si, dans la pratique, il est rencontré une population semblable à celle de l'étude, impliquant que les résultats sont applicables.

Les dix autres items s'intéressent à la validité interne¹⁴. Elles reposent sur la bonne conduite de l'essai, qui comprend l'assignation aléatoire et secrète des participants aux groupes, la similarité des groupes au début de l'étude et le fait que les sujets, les thérapeutes et l'examineur soient en aveugle. La validité interne prend également en compte les données

¹³ La validité externe est évaluée à travers le critère 1 du score PEDro. Celui-ci est respecté si le rapport décrit la source de recrutement et la liste des critères utilisés pour déterminer les personnes admissibles à l'étude.

¹⁴ La validité interne est évaluée à travers les critères 2 à 9 du score PEDro

interprétées par rapport aux sujets perdus de vue, les comparaisons intergroupes ainsi que la taille de l'effet, et l'estimation de la variabilité.

Tableau 3.2 Score PEDro des 6 articles respectant les critères d'inclusion

Auteurs	Critères											Score total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Biais retrouvés		Biais de sélection			Biais de détection			Biais d'attrition				
Atlaman et al., 2015	X	? ¹⁵	?	X			?	X	X	X		5/10
Bergstra et al., 2015	X	X	X	X			?	X	X	X	X	8/10
Fuller et al., 2016 et 2017	X	X	X	X				X	X	X		7/10
Ryan et al., 2014	X	X	X	X			?	X	X	X		7/10
Sinclair et al., 2014	X	X	?	X			?	X	X	X	X	7/10

3.2.2 Synthèse de biais trouvés

L'analyse critique des études incluses, réalisée à partir de l'échelle PEDro et complétée à l'aide de l'outil « Risque de biais » de la Cochrane Collaboration, a permis de relever plusieurs risques de biais décrits ci-dessous.

➤ Validité externe et généralisation des résultats

Le score total de la **PEDro** scale correspond au nombre de réponses « oui » des éléments 2 à 11 soit un score total exprimé sur 10 points. Le premier élément n'est pas inclus dans la somme du score total de la **PEDro** scale, parce qu'il est le seul élément lié à la validité externe. Toutes les études ont précisé les critères d'éligibilité utilisés dans l'admission des participants à l'étude et décrit dans leur rapport la source de recrutement des sujets.

➤ Assignment et biais de sélection

Toutes les études ont respecté une assignation aléatoire (*critère 2*) dans la répartition des participants aux différents groupes et chacune a rapporté que les groupes étaient similaires par rapport aux indicateurs pronostiques les plus importants (*critère 4*).

Mis à part l'étude de Atlaman et al., 2015 où l'assignation aléatoire n'a pas été précisée.

Le risque de **biais de sélection** a été jugé **faible** dans ce domaine.

¹⁵ Les ? signifient que les données transcrites dans l'étude sont manquantes.

Cependant, 3 études ont précisé une assignation secrète (*critère 3*) (Bergstra et al., 2015, Fuller et al., 2016 et Ryan et al., 2014). En effet dans les autres articles le risque de **biais de sélection** a été jugé **indéterminé** pour ce domaine.

➤ **Aveuglement, biais de performance et de détection**

Ils correspondent au fait que les sujets, les thérapeutes et les examinateurs ignorent le groupe auquel le patient appartient et permettent ainsi d'éviter le biais de détection. Cela signifie que le patient ne pourrait pas modifier les résultats qu'il donne en fonction du traitement reçu, que le thérapeute montrerait plus ou moins d'enthousiasme par rapport à une des thérapies, et enfin que l'examineur ne pourrait pas modifier ou influencer les résultats qu'il reçoit du patient. Compte tenu de la nature de la thérapeutique qui est testée, le double insu est très difficile voire même impossible. Toutes les études n'ont pas validé les items relatifs aux patients et aux thérapeutes (*critères 5 et 6*).

Le risque de **biais de performance** a été jugé **élevé** pour les 6 études.

En revanche les 6 études n'ont mentionné aucune information sur le fait que les évaluateurs étaient tenus dans l'ignorance de l'assignation d'un sujet à un groupe (*critère 7*).

Le risque de **biais de détection** a été jugé **indéterminé** pour la plupart des études.

➤ **Données de résultats incomplètes et biais de migration**

Les cinq études ont rapporté les mesures d'au moins un résultat clé chez plus de 85% des participants initialement assignés aux groupes (*critère 8*).

Deux études ont rapporté une analyse en intention de traiter (*critère 9*) (Fuller et al., 2016 et Ryan et al., 2014) tandis que les trois autres articles n'ont pas précisé une analyse en intention de traiter.

Seulement l'étude de Ryan et al., 2014 a rapporté le nombre de perdus de vue ou abandons tandis que les quatre autres études non.

Le risque de **biais de migration** a été jugé **indéterminé** pour l'ensemble des articles mais **faible** pour l'article de Ryan et al., 2014.

➤ **Rapport sélectif et biais de notification**

Pour chaque étude incluse, le rapport a fourni les résultats d'une comparaison statistique intergroupe (*critère 10*). Seulement deux études (Bergstra et al., 2015 et Sinclair et al., 2014) évoquent la mesure de la taille de l'effet du traitement ainsi que la mesure de dispersion pour au moins un résultat clé (*critère 11*).

Le risque de **biais de notification** a été jugé **faible** pour 2 études (Bergstra et al., 2015 et Sinclair et al., 2014), et **élevé** pour les 3 autres études.

Ces deux critères (10 et 11) montrent en temps normal que les études ont rapporté suffisamment d'information statistique pour que les résultats puissent être interprétés.

➤ Autres sources de biais potentielles

Toutes les études incluses dans cette revue de littérature sont des études comparatives qui possèdent un groupe test et un groupe témoin. La présence de ce groupe témoin permet d'éviter le biais de confusion. Ce dernier s'exprime par des variables non-maîtrisables comme l'effet placebo ou l'évolution spontanée de la maladie, au moment de l'interprétation.

L'évaluation de l'importance de ces risques de biais trouvés dans les études peut être résumée à l'aide de l'outil « Risques de biais » développé par la Cochrane collaboration comme montré dans la **Figure 3.2**. Pour rappel, cet outil comporte 7 domaines de biais et pour chaque domaine, le risque de biais est évalué comme étant faible, élevé ou indéterminé.

Figure 3.2 Résumé des risques de biais : évaluation de leur importance pour chaque étude incluse

	Génération de séquence aléatoire (biais de sélection)	Secret d'assignation (biais de sélection)	Insu des participants et intervenants (biais de performance)	Insu des évaluateurs (biais de détection)	Données de résultats incomplètes (biais de migration)	Rapport sélectif (biais de notification)	Autres biais
Atlaman et al., 2015	●	●	●	●	●	●	●
Bergstra et al., 2015	●	●	●	●	●	●	●
Fuller et al., 2016 et 2017	●	●	●	●	●	●	●
Ryan et al., 2014	●	●	●	●	●	●	●
Sinclair et al., 2014	●	●	●	●	●	●	●

3.2 Effets de l'intervention

3.2.1 Critères de jugement

3.2.1.1 Les blessures

Comme nous l'avons vu précédemment, la course à pied est une activité entraînant de nombreuses contraintes sur l'organisme. Ainsi la survenue de blessures est à prendre en compte. Avant de faire un point sur les différents articles utilisés pour cette revue il est d'abord fondamental de définir ce qu'est une blessure.

Toujours en prenant appui sur la clinique du coureur ; une définition de la blessure a été relatée grâce à une étude : Une définition consensuelle des blessures liées à la course à pied chez les coureurs récréatifs, une approche Delphi modifiée [24]. Cette étude de 2015 vise à recueillir, par l'intermédiaire d'un questionnaire ouvert, l'avis justifié d'un groupe d'experts dans différents domaines.

En effet, 26 experts internationaux ont alors défini la blessure liée à la course à pied comme : toutes douleurs musculo-squelettiques des membres inférieurs liées à la course à pied entraînant une limitation ou un arrêt de la course (distance, vitesse, durée ou entraînement) pendant au moins 7 jours ou 3 séances d'entraînement programmées consécutives, ou nécessitant le coureur à consulter un médecin ou un autre professionnel de la santé.

Dans le cadre de la présente revue de littérature, trois études abordent la survenue de blessures de différentes manières.

Atlaman et al., 2015 et son équipe ont eu pour objectif de comparer **l'incidence et le taux de blessures** entre les coureurs pieds nus et les coureurs pieds chaussés.

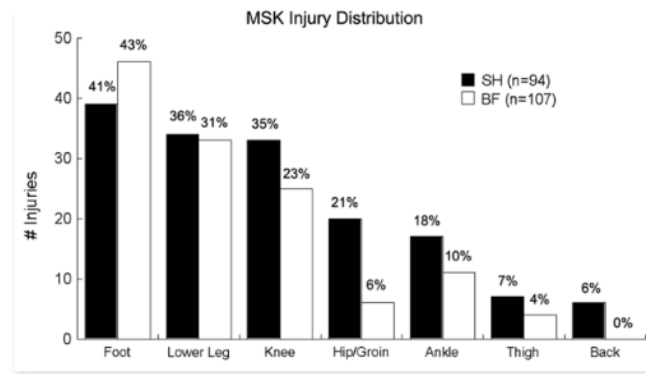
Cette étude a regroupé 201 coureurs (107 pieds nus et 94 pieds chaussés) qui ont eu pour but de courir au moins 50% de leur kilométrage annuel pieds nus pour le groupe expérimental et les 50% restants devaient être effectués dans de véritables chaussures minimalistes.

Au total, 396 blessures ont été signalées, dont 346 étaient liées à la course à pied (164 chaussées, 182 pieds nus).

Les lésions du système musculo-squelettique (MSK) représentaient 281 des 346 blessures (156 chaussés et 125 pieds nus). Parmi toutes les blessures MSK (diagnostiquées et non diagnostiquées), le pied était la partie du corps la plus fréquemment blessée dans les deux groupes, avec des pourcentages similaires entre les groupes (43% pour les chaussés et 41% pour les pieds nus).

Le nombre de blessures sur les autres parties du corps était généralement plus faible dans le groupe pieds nus. Les plus grandes différences dans le nombre de blessures observées se situent au niveau de la hanche, suivie du genou et de la cheville.

Figure 3.3 Histogramme des blessures (MSK) dans l'étude Atlaman et al., 2015



En regroupant toutes les blessures MSK signalées (qu'elles aient été diagnostiquées médicalement ou non), il n'y avait pas de différence entre les groupes chaussés et pieds nus dans le nombre relatif de coureurs signalant une blessure MSK. Il est intéressant de noter que 48% des coureurs du groupe pieds nus n'ont pas subi de blessures MSK, contre seulement 38% des coureurs du groupe chaussés ; cependant, ce résultat n'est pas statistiquement significatif. Il y a eu statistiquement moins ($p = 0,05$) de blessures MSK par coureur dans le groupe pieds nus que dans le groupe chaussés.

On note par contre une blessure significativement plus importante dans le groupe expérimental (30%) que dans le groupe contrôle (6%) ce sont les coupures, les contusions et les ampoules.

La deuxième étude traitant de la survenue des blessures, incluse dans notre revue est celle de **Ryan et al., 2014** qui ont étudié l'effet de 2 modèles de chaussures minimalistes et d'un modèle de chaussures traditionnelles sur **l'incidence des blessures et la douleur dans une population de coureurs récréatifs**.

L'étude regroupe 103 coureurs qui ont été répartis en 3 groupes : 34 coureurs en chaussures traditionnelles (Nike Pegasus 28), 34 en chaussures intermédiaires ou partiellement minimalistes (Nike Free 3.0 V2), et 35 en chaussures minimaliste (Vibram 5-finger Bikila). Au travers de ces trois groupes, l'indice minimaliste des chaussures était croissant, en particulier en diminuant l'épaisseur de la semelle, en diminuant la hauteur du talon et en réduisant la rigidité de la semelle sous l'avant pied.

Suite aux 12 semaines et en vue de la préparation d'un 10 km, 99 coureurs ont été inclus dans l'analyse finale, et parmi ces coureurs **Ryan et al., 2014** ont constaté 23 blessures, soit un taux de 23,2%.

Le nombre de blessures était plus important dans les groupes « minimaliste » que dans le groupe « traditionnelle ». Cependant, le nombre de blessures était plus important dans le groupe « intermédiaire » que « minimaliste pure ».

L'analyse Kaplan-Meier ¹⁶ utilisée dans cette étude, a révélé une **différence significative** dans le nombre de blessures survenues au fil du temps dans toutes les conditions de chaussage en raison du nombre disproportionné de blessures signalées par les coureurs du groupe minimaliste partiel.

Ainsi, les auteurs en ont conclu, par l'analyse des événements de blessures, que l'utilisation de chaussures minimalistes présentaient une **probabilité plus élevée de se blesser** que l'utilisation de modèles de chaussures traditionnelles.

Pour **Ryan et al., 2014** le fait de courir dans des chaussures minimalistes semble ainsi augmenter le risque de blessures.

Un autre critère de jugement a été utilisé dans cet article : le **score FADI** (Foot and Ankle Disability) conçu pour évaluer les limitations fonctionnelles liées aux affections du pied et de la cheville. Il s'agit d'un questionnaire de 26 items. Le FADI contient 4 items liés à la douleur et 22 items liés à l'activité. Aucun résultat significatif n'a été mis en avant pour le score FADI.

La troisième équipe à s'être intéressée à ces paramètres est celle de **Fuller et al., 2017**. Ils ont **comparé les blessures** liées à la course avec des chaussures minimalistes et traditionnelles chez les coureurs entraînés. Ils ont aussi étudié les interactions entre le type de chaussure, la masse corporelle et la distance d'entraînement hebdomadaire sur les conséquences en terme de douleur et de blessures liées à la course.

Dans cette étude, une blessure est considérée comme : « tout problème musculo-squelettique attribué par le participant à la course à pied. Le problème devra être suffisamment grave pour entraîner une réduction de la distance hebdomadaire de course, une visite chez un professionnel de la santé ou l'utilisation de médicaments ».

L'étude regroupe 61 coureurs, ayant une moyenne de 25 km de course par semaine, avec une attaque talon et n'ayant aucune expérience de course en chaussures minimalistes.

Ils ont été répartis en 2 groupes : 31 coureurs avec chaussures minimalistes et 30 coureurs avec chaussures traditionnelles.

Sur 26 semaines, les coureurs de chaque groupe ont progressivement augmenté le temps passé à courir avec leurs chaussures attribuées et réduit le temps passé à courir dans leurs chaussures de course habituelles.

Fuller et son équipe, ont constaté un **nombre plus important de blessures chez les coureurs en chaussures minimalistes** par rapport à ceux courant en chaussures traditionnelles.

TABLE 1
Number of Injuries and Severity of Weekly Running-Related Pain at the Foot, Ankle, Calf, Shin, Knee, Thigh, and Lower Back for Conventional and Minimalist Shoes^a

Location	Mean Weekly VAS, mm			Number of Injuries (%)	
	Conventional	Minimalist	P Value	Conventional	Minimalist
Foot	7 ± 10	8 ± 14	.58	1 (9)	1 (6)
Ankle	5 ± 10	10 ± 18	.01	0 (0)	2 (13)
Calf	7 ± 12	11 ± 17	.01	4 (36)	4 (25)
Shin	4 ± 7	8 ± 13	.01	1 (9)	3 (19)
Knee	7 ± 11	11 ± 15	.03	5 (45)	5 (31)
Thigh	6 ± 10	6 ± 9	.80	0 (0)	1 (6)
Lower back	6 ± 11	7 ± 13	.24	0 (0)	0 (0)

^aPain data are mean ± standard deviation. VAS, visual analog scale pain scores. P values are provided for the difference in mean weekly VAS between minimalist and conventional shoe groups (assessed by main effect of shoe in linear fixed-effects model).

¹⁶ L'analyse Kaplan-Meier permet d'obtenir rapidement une courbe de survie, ainsi que des statistiques essentielles comme le temps médian résiduel de survie

En effet, onze (37%) coureurs ont subi une blessure liée à la course dans le groupe des chaussures conventionnelles, contre 16 (52%) coureurs dans le groupe des chaussures minimalistes.

Dix blessures à la jambe inférieure et au pied sont survenues dans le groupe des chaussures minimalistes par rapport à 6 dans le groupe des chaussures conventionnelles. Les blessures au genou et à la cuisse représentaient les 6 autres blessures dans le groupe des chaussures minimalistes et 5 dans le groupe des chaussures conventionnelles.

Pour les coureurs utilisant des chaussures minimalistes, la probabilité de subir une blessure **augmentait avec l'augmentation de la masse corporelle** (au-dessus de 71,4 kg).

Les coureurs utilisant des chaussures minimalistes dont la masse corporelle était de 85,7 kg ont connu une augmentation du risque de blessure ($p = 0,02$). Le modèle a estimé que 68% des coureurs pesant 85,7 kg et utilisant des chaussures minimalistes se blesseraient après 26 semaines de course, contre 22% des coureurs pesant 85,7 kg et utilisant des chaussures conventionnelles. En revanche, les coureurs utilisant des chaussures minimalistes avec une masse corporelle de 57,2 kg n'ont pas subi de blessures statistiquement significatives.

3.2.1.2 Caractéristiques biomécanique de la course

La technique de course est la façon de courir adoptée par chaque coureur. Elle est variable d'un coureur à l'autre, elle peut être spontanée et sans influence de conseils techniques. Mais elle peut aussi être le fruit d'un apprentissage, d'un travail technique basé sur des conseils spécifiques orientant la technique vers des caractéristiques précises. Cependant au-delà du caractère inné ou acquis, ces caractéristiques de foulée peuvent être influencées par d'autres paramètres, extérieurs au coureur, tel que le type de chaussures utilisées.

Parmi les 6 études sélectionnées, 3 études ont analysé les **caractéristiques de foulées** entre la course en chaussures traditionnelles et celle en chaussures minimalistes.

La première étude de **Fuller et al. 2016** ont placé les caractéristiques de foulée au centre de leur étude. Ils ont étudié le **type de foulée adoptée** par les coureurs en chaussures minimalistes lors de la course à vitesse rapide et les conséquences en terme de travail mécanique sur le genou et la cheville.

Leur étude a été effectuée sur des coureurs de fond entraînés avec une attaque arrière pied et n'ayant aucune expérience en chaussures minimalistes.

Les coureurs sélectionnés devaient courir sur piste à 18km/h (avec plateforme de force intégrée), dans 2 conditions : avec des chaussures traditionnelles et avec des chaussures minimalistes.

Plusieurs résultats ont été mis en avant. Premièrement l'utilisation de chaussures minimalistes a **augmenté l'indice de frappe** (avec un indice à 35,97% dans le GE contre 29,04% dans le GC) cette différence est **cliniquement significative** avec un $p = 0,03$. L'utilisation de chaussures minimalistes a démontré une modification de la foulée pour 30% des participants par l'adoption d'une **attaque médio-pied**.

De plus, avec les chaussures minimalistes, ils ont constaté une **augmentation de la fréquence de foulée** (GE : 87,89 foulées par minute contre GC : 86,18 foulées par minute) associée à une **réduction du temps de contact au sol** (GE : 67,03 secondes contre GC : 69,80 secondes). Ces résultats sont **cliniquement significatifs** avec un p toujours $< 0,05$.

Deuxièmement, les coureurs ont atterri avec une cheville plus en flexion plantaire lors du contact initial dans les chaussures minimalistes, mais nous n'avons observé aucune différence dans la dorsiflexion maximale de la cheville ou d'angle de la cheville au moment de la propulsion.

Enfin, concernant le travail mécanique, l'utilisation de chaussures minimalistes entraînait une augmentation du travail concentrique et excentrique au niveau de la cheville mais une diminution au niveau du genou.

L'étude de **Sinclair et al., 2013** [25] à elle, inclut une analyse des caractéristiques biomécaniques de foulées au sein d'une étude orientée principalement sur les **sollicitations articulaires**. En effet ils ont étudié la cinématique tibio-calcanéenne dans 3 conditions (course pieds nus, avec chaussures traditionnelles et avec chaussures minimalistes).

Les coureurs sélectionnés pour l'étude présentaient tous une attaque arrière-pied et étaient habitués à courir en chaussures minimalistes. Le protocole consistait à courir sur piste à 14,4 km/h (plateforme de force intégrée sur 22m).

Les paramètres d'éversion, d'inversion et de rotation médiale du tibia ont été analysés. En effet, selon les auteurs, une **éversion excessive** associée à une **rotation médiale du tibia** sont impliquées dans l'étiologie d'un certain nombre de blessures dues à une surutilisation (syndrome de stress tibial, la fasciite plantaire, le syndrome fémoro-patellaire et le syndrome de la bande ilio-tibiale).

Dans les conditions pieds nus et avec chaussures minimalistes il a été constaté **une plus grande éversion et une plus grande rotation médiale du tibia**.

Sinclair ayant réalisé de multiples études, avec son équipe en 2016 [26], ils ont ensuite examiné de manière comparative les effets des chaussures minimalistes, maximalistes et traditionnelles sur **les charges subies par l'articulation fémoro-patellaire** pendant la course.

L'étude a été effectuée sur 20 coureurs masculins ayant tous une attaque arrière-pied et courant habituellement avec des chaussures traditionnelles. Les participants devaient courir sur piste à 14,4 km/h (plateforme de force intégrée sur 22m) dans les 3 conditions (chaussures minimalistes, maximalistes, et traditionnelles). Une période d'accommodation était accordée, et 5 essais étaient effectués par condition.

La force de contact fémoro-patellaire, la pression dans l'articulation pendant la phase d'appui, l'impulsion de la force de contact par miles (1,609 km) ainsi que la biomécanique de course étaient analysées.

Suite à cette étude **Sinclair et al. 2016** ont constaté que :

→ Le pic de flexion du genou ainsi que l'amplitude des mouvements du genou étaient **plus faibles** avec les chaussures minimalistes.

→ La flexion plantaire de la cheville était quant à elle **plus importante** avec les chaussures minimalistes.

→ Le pic de force de contact, le pic de pression, la force de contact moyenne, la force de contact instantanée, l'impulsion de force de contact dans l'articulation fémoro-patellaire ainsi que la force de contact dans l'articulation fémoro-patellaire par miles (1,609 km) étaient **plus importants** avec les chaussures traditionnelles qu'avec les minimalistes.

Table 1 Knee and ankle kinematics as a function of footwear

Kinematics	Maximalist			Conventional			Minimalist		
	Mean	SD	95% CI	Mean	SD	95% CI	Mean	SD	95% CI
Knee (+ = flexion / - = extension)									
Angle at foot strike (°)	15.34	5.71	11.71–18.97	13.77	5.58	10.24–17.32	16.38	7.31	11.75–21.03
Peak flexion (°)	42.91	6.69	38.66–47.17	42.76	5.12	39.50–46.01	39.98	6.95	36.02–44.85
Range of motion (°)	27.57	6.30	27.94–31.58	28.98	6.23	25.31–39.93	23.05	5.00	21.87–28.23
Ankle (+ = dorsiflexion/ - = plantar flexion)									
Angle at foot strike (°)	4.78	7.10	1.34–9.78	4.83	6.19	1.97–9.87	-5.29	13.11	-16.63 to 3.04
Peak dorsiflexion (°)	17.56	4.09	14.96–20.16	19.24	5.51	15.73–22.47	17.51	3.67	15.20–19.83
Range of motion (°)	12.89	9.20	7.04–18.73	14.41	9.45	7.88–21.03	22.81	12.79	14.68–30.94

Ainsi, les paramètres de la force de contact dans l'articulation fémoro-patellaire étaient significativement plus grands avec les chaussures traditionnelles que minimalistes.

Concernant la biomécanique de course, la longueur de pas était plus grande avec les chaussures traditionnelles et le nombre de pas par miles (1,609 km) était plus important avec les chaussures minimalistes.

Bien qu'il y ait eu une augmentation de fréquence de foulée et donc une augmentation du nombre de pas par miles (1,609 km) avec les chaussures minimalistes, **Sinclair et al. 2016** ont tout de même constaté une **réduction de la force de contact** avec les chaussures minimalistes par rapport aux chaussures traditionnelles.

Pour finir, **Bergstra et al., 2015** se sont intéressés aux caractéristiques de foulée pour étudier un autre paramètre principal, **les pressions plantaires**. Ils se sont donc penchés sur les conséquences de la course en chaussures minimalistes sur les pressions plantaires, plus précisément dans la région de l'avant-pied.

L'étude a été effectuée sur 18 coureuses expérimentées. Chaque participante effectuaient 5 essais pour les 3 conditions : course avec chaussures traditionnelles, avec chaussures minimalistes et pieds nus.

Ont été mesuré :

- la pression plantaire maximale
- la pression plantaire moyenne
- le temps de pression
- l'instant de pression maximale
- le temps d'appui
- le temps de foulée
- le confort de la chaussure
- le type d'attaque

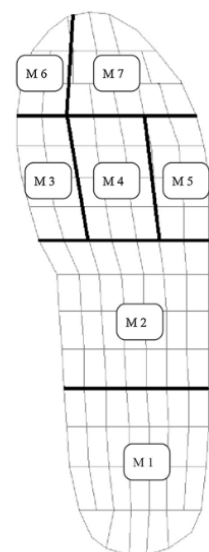


Fig. 2. Seven anatomical foot regions (marks) defined in this study: M1 (heel), M2 (midfoot), M3 (medial forefoot), M4 (central forefoot), M5 (lateral forefoot), M6 (digit 1), and M7 (digit 2-5).

Ces mesures de pression étaient effectuées sur 7 régions du pied. **Bergstra et al., 2015** ont constaté une augmentation de la pression plantaire sur l'avant-pied (M3, M4, M5) avec des chaussures minimalistes comparés aux chaussures traditionnelles.

En effet on retrouve les résultats suivants :

Comparison of the mean [95% confidence interval] results of all outcome variables.

Variable	Minimalist shoe	Standard shoe
Peak pressure (kPa)		
Heel	275 [196; 354]	230 [151; 309]
Midfoot	191 [158; 224]	163 [130; 196]
Medial forefoot	416 [367; 464]	359 [311; 408]
Central forefoot	464 [413; 515]	291 [241; 342]
Lateral forefoot	401 [355; 446]	249 [203; 294]
Digit 1	345 [260; 430]	336 [251; 421]
Digit 2-5	241 [194; 287]	238 [191; 285]
Maximum mean pressure (kPa)		
Heel	158 [105; 210]	160 [108; 212]
Midfoot	76.8 [63.4; 90.1]	86.3 [73.0; 99.6]
Medial forefoot	248 [227; 269]	229 [208; 251]
Central forefoot	296 [269; 323]	209 [182; 236]
Lateral forefoot	211 [190; 233]	168 [147; 190]
Digit 1	209 [166; 252]	228 [186; 271]
Digit 2-5	99.3 [82.0; 117]	118 [101; 135]

On remarque donc une pression nettement plus importante en M3, M4 et M5 pour la chaussure minimaliste avec **$p < 0,05$ donc une différence significative** entre les deux groupes.

Cependant aucune modification du type de foulée n'a été observée en fonction des conditions.

Bergstra et al., 2015 suggèrent que l'une des raisons pour lesquelles les coureurs adoptent une attaque medio-pied ou avant-pied serait **l'inconfort causé par un atterrissage sur le talon**. Or, d'après les auteurs, la présence d'amorti dans certaines chaussures utilisées dans cette présente étude pourrait réduire cet inconfort et expliquer l'absence de modification de stratégie d'atterrissage. Cette course par attaque médio pied pourrait augmenter le risque de fractures de stress de l'avant-pied en raison de la pression accrue dans la région de l'avant-pied selon **Bergstra et al., 2015**.

Pour finir cette partie, l'équipe de **Sinclair et al., 2015** [27] ont étudié les caractéristiques de foulée afin d'aboutir à une analyse des conséquences de la courses en chaussures minimalistes sur le **tendon d'Achille**.

En effet, ils ont comparé les contraintes subies par le tendon d'Achille avec des chaussures minimalistes, traditionnelles et maximalistes. L'étude a été effectuée sur des coureurs récréatifs ayant une attaque arrière pied.

Chaque coureur devait courir sur piste à 14,4 km/h, (plateforme de force intégrée sur 22m) dans les 3 conditions testées (chaussures minimalistes, traditionnelles et maximalistes).

Les paramètres du taux de charge du tendon d'Achille ont été étudiés (pic, durée, moyenne, force par miles et impulsion) ainsi que la longueur de pas, le nombre de pas par miles et la durée de la phase d'appui.

Ils ont alors constaté **une augmentation de tous les paramètres du taux de charge du tendon d'Achille** avec les chaussures minimalistes par rapport aux chaussures traditionnelles (Figure 1).

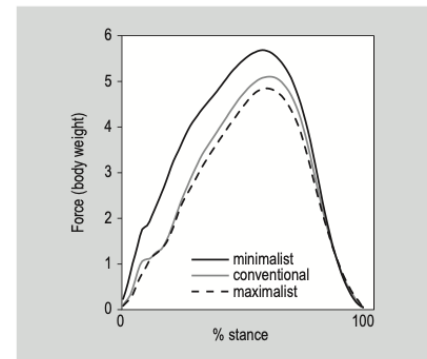


Figure 1. Achilles tendon loads as a function of footwear.

De plus, ils ont constaté une **diminution de la longueur de pas** (Chaussures minimalistes : 1,20 m contre 1,25 m pour les chaussures maximalistes ou traditionnelles) associée à une diminution de la durée de la phase d'appui (Chaussures minimalistes : 0,21 secondes contre chaussures maximalistes ou traditionnelles : 0,22 secondes) et à une augmentation du nombre de pas par miles avec les chaussures minimalistes (674,57 pas) en comparaison aux chaussures traditionnelles (650,46 pas).

Ce ne sont cependant pas les seules modifications constatées avec l'utilisation de chaussures minimalistes. En effet, de nombreuses études se sont intéressées aux répercussions de ces modifications sur la répartition des contraintes au niveau articulaire et musculo-tendineux.

3.2.1.3 Contraintes articulaires

Comme nous avons pu le constater au travers des résultats précédents concernant les caractéristiques de foulée, les principales articulations impactées par les modifications liées au type de chaussures utilisées sont **le pied, la cheville et le genou**. Ces articulations vont être soumises à des contraintes, c'est à dire à des forces appliquées au niveau des différentes structures articulaires.

Afin de mieux comprendre les modifications de répartition des contraintes au niveau articulaire, un des paramètres fondamentaux à prendre en compte est **la force de réaction verticale au sol** (force exercée par le sol sur le corps au moment de l'impact du pied au sol), aussi appelée **taux de charge vertical**. Ce taux de charge a une importance majeure dans la part de contraintes appliquées aux différentes articulations lors de la course.

En effet, d'un point de vue cinétique, des taux élevés de charges verticales appliquées de manière répétitive aux différentes structures des membres inférieurs pendant la course expose ces dernières à des contraintes importantes qui peuvent être à l'origine de blessures.

Sinclair et al., 2014 se sont intéressés aux contraintes au niveau des genoux et des chevilles dans des chaussures minimalistes et lors de la course pieds nus par rapport aux chaussures de course traditionnelles.

L'étude a été effectuée sur 30 coureurs masculins. Chaque coureur devait courir sur piste (avec plateforme de force intégrée sur 22m) à 14,4 km/h dans 3 conditions différentes : avec des chaussures traditionnelles, avec des chaussures minimalistes et pieds nus. Dix essais étaient effectués pour chaque condition. Les moments articulaires du genou et de la cheville, la force de contact fémoro-patellaire, la pression dans le compartiment fémoro-patellaire ainsi que la force du tendon d'Achille étaient mesurés.

On constate alors, un **effet principal significatif $p < 0,006$** , trouvé pour le moment d'extension du genou (ME). L'analyse a montré que le ME était significativement plus élevée avec les chaussures conventionnelles qu'avec les chaussures minimalistes. On note également, un effet principal significatif $p < 0,006$, observé pour la force de contact fémoro patellaire (PTF), en effet l'analyse a montré que la PTF était significativement plus élevée dans les chaussures conventionnelles par rapport aux chaussures minimalistes.

Un autre effet principal $p < 0,006$ a été trouvé pour la pression, l'analyse a montré que **la pression était significativement plus important dans les chaussures conventionnelles par rapport aux chaussures minimalistes.**

En conclusion, au niveau des genoux, ils ont constaté qu'il y avait une réduction des paramètres cinétiques fémoro-patellaires lors de la course en chaussures minimalistes et pieds nus par rapport aux chaussures traditionnelles.

Au niveau de la cheville, ils ont constaté une augmentation de la force du tendon d'Achille lors de la course en chaussures minimalistes et pieds nus par rapport aux chaussures traditionnelles.

Sinclair et al., 2016 ont également étudié ces contraintes, mais cette fois uniquement au niveau du genou.

Décrite précédemment, dans cette étude ils constataient alors que les paramètres de la force de contact dans l'articulation fémoro-patellaire étaient plus grands avec chaussures traditionnelles qu'avec des chaussures minimalistes.

3.2.1.4 Douleurs

L'équipe **Ryan et al., 2014** ont évalué la douleur régionale et globale grâce à l'Échelle Visuelle Analogique (EVA). Ils ont constaté des douleurs importantes au tibia et au mollet pour le groupe des « minimalistes pures » en effet la **douleur au tibia et au mollet** des participants portant des chaussures minimalistes complètes était **significativement ($p < 0,01$) plus importante** que les deux autres groupes de chaussures.

Fuller et al., 2017 ont également évoqué la douleur qui était évaluées toutes les semaines par l'EVA. Ils précisent qu'avec les chaussures minimalistes, une augmentation significative de la douleur été à prendre en compte. Cette douleur se localisait au genou, au mollet et dans une moindre mesure à la cheville et au tibia lorsque la distance d'entraînement était supérieure à 35 km par semaine et dont le poids du coureur était supérieur à 71,4 Kg.

Les douleurs n'ont été constatées qu'au cours des semaines 7 à 26 et non de 1 à 6, soit uniquement lorsque les sujets reprenaient leur entraînement habituel, sans consigne de progressivité.

Fuller et al., 2017 rapporte donc des douleurs significativement plus importantes en baskets minimalistes au niveau de la cheville ($p = 0,01$), du mollet ($p = 0,01$), du tibia ($p = 0,01$) et du genou ($p = 0,03$).

Pour conclure cette partie, aux vues des résultats de ces 2 études, l'utilisation des chaussures minimalistes augmenterait la survenue de douleurs au niveau du pied, de la jambe et du genou. Cette augmentation étant d'autant plus grande que la distance parcourue par semaine est grande ainsi que la masse corporelle du coureur est élevée.

4. DISCUSSION

Le port de chaussures minimalistes fait partie des facteurs extrinsèque pouvant engendrer blessures, douleurs, contraintes anatomiques et modifications de la foulée chez le coureur à pied.

4.1 Analyse des principaux résultats

Cette revue de littérature a inclus 6 RCTs permettant de regrouper un total de 439 participants, afin d'évaluer les effets du port de chaussures minimalistes sur les coureurs à pieds. Les participants des études incluses étaient soit des coureurs récréatifs soit des coureurs professionnels.

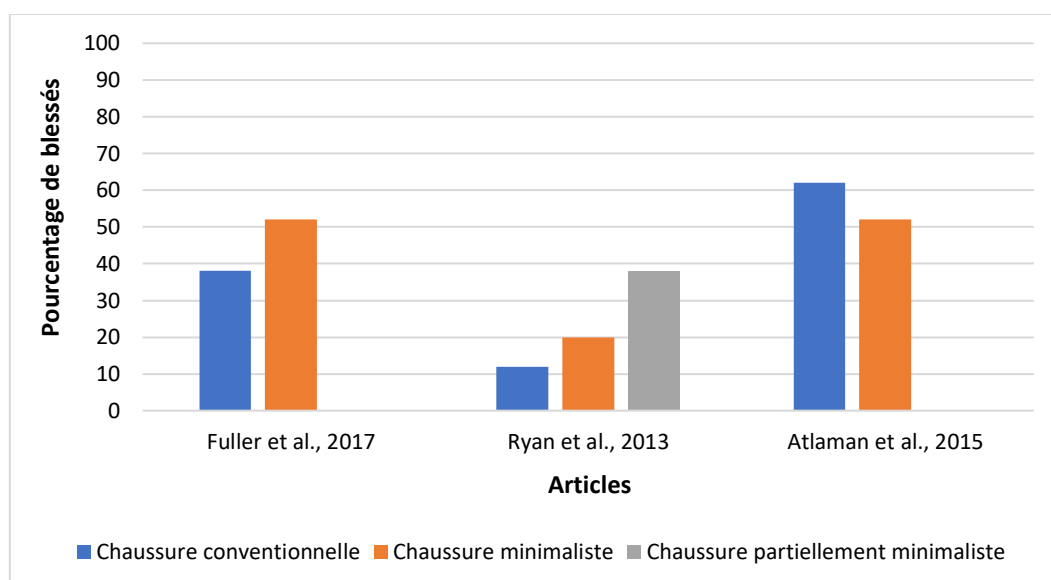
4.1.1 Synthèse des résultats

➤ Les blessures

Le nombre de blessés dans cette revue est important à mettre en évidence. Cependant, la différence n'est pas significative pour l'article de **Fuller et al., 2017** avec une valeur de p de 0,24. Elle est uniquement significative pour les chaussures partiellement minimalistes comparées aux deux autres baskets, dans l'étude de **Ryan et al., 2013** avec $p < 0,05$ tel que mentionné dans l'article en question.

En revanche, dans l'étude **Atlaman et al., 2015**, il y a eu statistiquement ($p = 0,05$) moins de blessures par coureur dans le groupe pieds nus que dans le groupe chaussés.

Figure 4.1 Pourcentage de blessés selon le type de chaussure



les blessures sont globalement plus importantes en chaussures minimalistes qu'en chaussures conventionnelles ; tel qu'on peut le voir sur le graphique malgré un pourcentage de blessures plus élevé chez les coureurs avec chaussures conventionnelles dans l'article **Atlaman et al., 2015**.

En conclusion dans l'article **Atlaman et al., 2015**, un nombre significativement moins élevé de blessures musculo-squelettiques a été signalé chez les coureurs pieds nus que chez les coureurs chaussés, les taux de blessures sont similaires entre les coureurs pieds nus et les coureurs pieds chaussés en raison de la diminution du kilométrage chez les coureurs pieds nus. Enfin, les blessures de la surface plantaire sont significativement plus élevées chez les coureurs pieds nus que chez les coureurs chaussés.

Les articles de **Fuller et al., 2017** et **Atlaman et al., 2015** nous informent également de la localisation des blessures subies par les coureurs. La localisation la plus évoquée est le pied, suivi du tibia, du genou et des hanches. Dans l'article de **Fuller et al., 2017** une blessure est apparue au mollet chez quatre coureurs de chaque groupe et deux blessures ont été localisées sur la cheville dans le groupe minimaliste, sans précision de la structure en souffrance. Les genoux sont également souvent atteints, avec une blessure relevée chez cinq coureurs dans chaque groupe de **Fuller et al., 2017**.

Pour finir, notons que la différence du nombre de blessures par localisation n'est pas significative entre le groupe chaussures minimalistes et le groupe chaussures standards dans la recherche de **Fuller et al., 2017**.

➤ Les caractéristiques biomécanique de course et contraintes anatomiques

Pour conclure sur le lien entre chaussures minimalistes et caractéristiques de foulée, retenons ces quelques points clés sous forme de tableau

Études	Effets des chaussures minimalistes
Fuller et al., 2016	Modification de l'attaque du pied : médio-pied. Augmentation de la fréquence de foulée. Diminution du temps d'appui contact / sol. Diminution du déplacement vertical du corps.
Sinclair et al., 2013	Augmentation de l'éversion du pied. Augmentation de la rotation médiale du tibia.
Sinclair et al., 2014	Diminution des paramètres cinétiques fémoro-patellaire. Augmentation de la force du tendon d'Achille.
Sinclair et al., 2015	Augmentation du taux de charge du tendon d'Achille.
Sinclair et al., 2016	Diminution de la flexion de genou. Augmentation de la flexion plantaire. Diminution de la force de contact de l'articulation fémoro-patellaire. Diminution du taux de charge. Diminution de la longueur du pas. Augmentation du nombre de pas par miles. Diminution de l'impulsion de la force de contact.
Bergstra et al., 2015	Augmentation de la pression plantaire du pied.

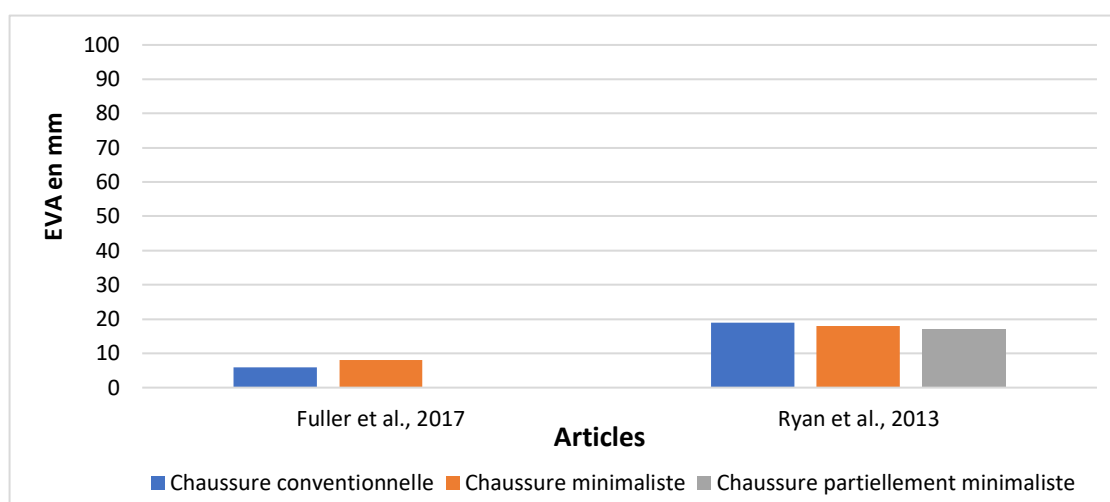
➤ Douleurs

Deux études évoquent la douleur et ont choisi le même outcome pour évaluer la douleur : l'échelle visuelle analogique (EVA). **Fuller et al., 2017** ainsi que **Ryan et al., 2014** ont utilisé une version sur 100 mm.

En revanche, ces deux auteurs ont défini différemment la notion de douleur. En effet, pour **Fuller et al., 2017**, la douleur que le coureur devait coter était « la pire douleur expérimentée lors de la course » et selon **Ryan et al., 2014** la notion de douleur était traduite comme : « une douleur associée à la course à pied ».

En se penchant sur les douleurs ressenties par les coureurs sur tout leur corps sans distinction des régions, il n'y a pas de différences entre les groupes. Nous pouvons uniquement remarquer que les coureurs de l'étude de **Fuller et al., 2017** rapportent une douleur moins importante sur l'échelle visuelle analogique (EVA) que les autres coureurs.

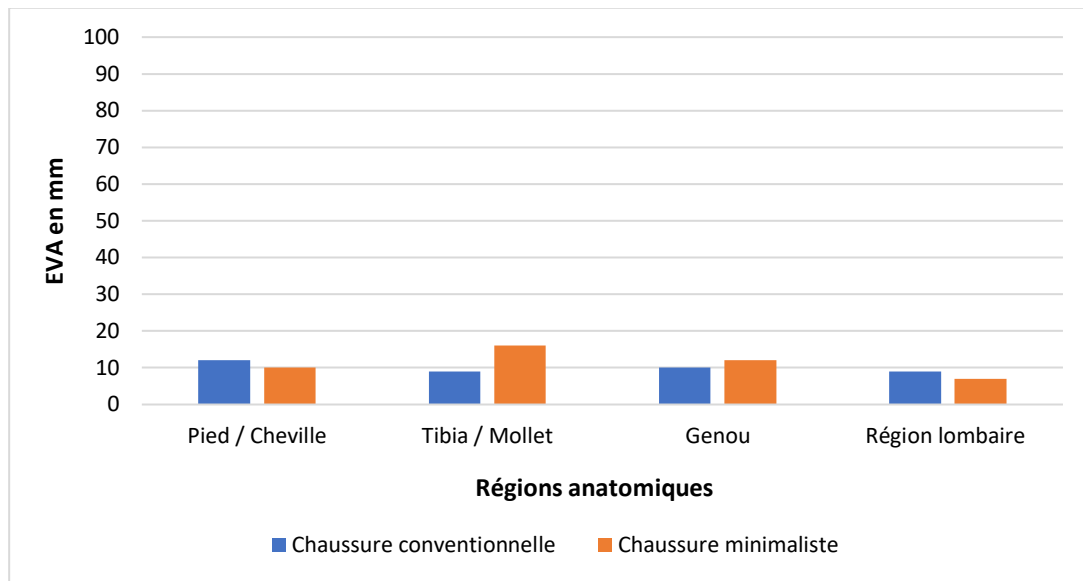
Figure 4.2 Douleur moyenne globale perçue par les coureurs



Par contre, en se penchant sur les douleurs relevées par régions anatomiques dans les études de **Fuller et al., 2017** et **Ryan et al., 2014**, nous pouvons observer des différences significatives sur certaines régions.

Nous avons effectué des moyennes afin d'en avoir un aperçu global (**Figure 4.3**). Il en ressort une douleur augmentée au tibia et au mollet en chaussures minimalistes. Plus spécifiquement, **Fuller et al., 2017** rapporte des douleurs significativement plus importantes en baskets minimalistes au niveau de la cheville, du mollet, du tibia et du genou. Les coureurs de **Ryan et al., 2014** ont aussi mal de manière significativement plus importante pour la région « Tibia / Mollet ».

Figure 4.3 Douleur moyenne perçue par régions anatomiques



4.1.2 Synthèse des limites

Lors de la rédaction de cette revue, et afin de prendre conscience des biais pouvant influencer les résultats, nous avons relevé les limites au sein de chaque étude et celles liées à la comparaison des études entre elles.

4.1.2.1 Biais et limites intra-études

➤ Échantillons

Parmi les 6 études incluses dans cette revue, une seule étude (soit 16,6% des études traitées) a été effectuée sur un échantillon inférieur ou égal à 20 sujets (**Bergstra et al., 2014**). Deux études (soit 33,3% des études traitées) ont été effectuées sur des échantillons de 21 à 40 sujets (**Fuller et al., 2016** et **Sinclair et al., 2014**). Pour finir, 3 études (soit 50% des études traitées) ont été effectuées sur des échantillons supérieurs ou égaux à de 60 sujets.

Ainsi, la taille moyenne des échantillons de ces 6 études est de 73 sujets. Or la taille de l'échantillon d'une étude a une influence sur la puissance, c'est à dire sur la probabilité de détecter une différence si elle existe réellement. Ainsi plus la taille d'un échantillon est grande plus la puissance statistique des tests sera importante. A l'inverse, faire une moyenne sur un faible nombre d'individus, conduira à des fluctuations d'échantillonnages non négligeables.

Nous comprenons alors aisément que la taille de l'échantillon étudié est fondamentale. Ainsi calculons la taille de l'échantillon nécessaire permettant d'obtenir des résultats représentatifs de la population de coureurs à pied en France. Pour cela, considérons l'équation suivante :

$$n = (t_{p^2} \times P(1 - P) \times N / t_{p^2} \times P(1 - P) + (N - 1) \times y^2$$

D'après Rea L.M et al., 1997.

n = taille de l'échantillon

N = taille de la population cible réelle ou estimée

P = proportion attendue d'une réponse de la population ou proportion réelle. Dans le cas d'une étude à plusieurs paramètres elle peut être fixée à 0,5 par défaut, ce qui permet d'avoir le plus grand échantillon possible

t_p = intervalle de confiance d'échantillonnage

y = marge d'erreur d'échantillonnage

Prenons les valeurs suivantes :

N = 12 000 000 de coureurs en France (sources : Fédération Française d'Athlétisme (FFA), Sportlab et SL Events)

P = 0,5

t_p = 1,96 pour un intervalle de confiance de 95%

y = 5%

Nous obtenons alors une taille d'échantillon n = **384 sujets**.

Ainsi un échantillon de 384 sujets est nécessaire pour obtenir des résultats représentatifs de la population de coureurs en France.

Comme nous l'avons précisé précédemment, la taille moyenne des échantillons de ces 6 études est de 73 sujets. Ainsi, en utilisant des échantillons de petites tailles, les auteurs s'exposent au risque de ne pas obtenir de résultats représentatifs de la population globale des coureurs à pied. Par conséquent, nous pouvons considérer que la taille des échantillons étudiés constitue une limite non négligeable dans le cadre de l'analyse des résultats.

➤ Population

Les populations de nos études sont comparables en de nombreux points comme l'âge moyen qui semble similaire ne présentant donc pas une limite à cette analyse. Cependant, dans le cadre de notre pratique clinique, il est important de prendre en compte le fait que les résultats apportés dans cette revue concernent une population jeune.

Soulignons deux différences importantes. Premièrement, dans 3 études, seulement les hommes ont été sélectionnés (**Fuller et al., 2016** et **2017** ainsi que **Sinclair et al., 2014**). De plus, l'article de **Bergstra et al., 2014** n'a quant à lui inclus uniquement des coureuses. Enfin l'échantillon de population des deux autres études était mixte. Le genre semble être un paramètre non négligeable pouvant constituer une limite.

Deuxièmement, le statut amateurs ou professionnels était différents d'une étude à l'autre en effet, on retrouve plusieurs profils selon les articles :

Articles	Profils coureurs
Atlaman et al., 2015	Coureurs récréatifs > 10 km par semaine
Bergstra et al., 2015	Coureur de club d'athlétisme
Fuller et al., 2016 et 2017	Coureur entraîné > 15 km par semaine
Ryan et al., 2014	Coureurs récréatifs > 10 km par semaine
Sinclair et al., 2014	Coureur amateur > 3 fois par semaine

On constate donc que certains auteurs se sont intéressés à des coureurs confirmés, de bon niveau, compétiteurs, tandis que d'autres études ont été effectuées sur des coureurs récréatifs.

Or, le niveau de pratique a une influence majeure au niveau de la biomécanique de course. Des coureurs élités auront des caractéristiques de foulée différentes de celles de coureurs amateurs. Ainsi ce paramètre peut constituer une limite à considérer dans l'analyse de ces résultats et doit être pris en compte dans notre prise en charge kinésithérapique.

➤ Intervention

Les études de **Fuller et al., 2017** et **Ryan et al., 2014** cadrent les coureurs, tant dans la progression du temps de port des chaussures que pour le contenu des entraînements.

Notons que chez **Fuller et al., 2017**, l'entraînement est séparé en deux parties : l'une très cadrée de six semaines et la seconde, plus libre, de 20 semaines. Ceci ajoute un facteur divergent entre ces deux périodes, mais qui n'est pas suffisamment détaillé dans les résultats pour pouvoir en tirer des conclusions.

En effet, nous n'avons pas de données concernant les dates d'apparition des blessures lors de la transition. Nous ne pouvons ainsi pas en déduire si elles étaient plus importantes pendant une période ou l'autre.

En ce qui concerne les détails de l'intervention, **Fuller et al., 2016** utilise un protocole avec une vitesse rapide (18 km/h). Or plusieurs équipes se sont intéressées à l'influence de la vitesse de course sur les caractéristiques de foulée, ainsi selon Wang et son équipe [28] plus la vitesse de course augmente, plus les coureurs modifient leur foulée en adoptant une attaque avant ou médio-pied plutôt qu'arrière pied.

Ainsi dans l'étude de **Fuller et al., 2016** on peut se demander si la vitesse de course choisie n'influencerait-elle pas directement les caractéristiques de foulées et pourrait, par conséquent, constituer une limite à prendre en compte dans l'interprétation des résultats.

Ces auteurs justifient ce choix de vitesse par le fait que, selon eux, la majorité des coureurs utilisant des chaussures minimalistes le font sur des distances très courtes (< 5 km) au cours desquelles les vitesses pratiquées sont toujours d'au moins 14 km/h.

Cependant, l'utilisation de chaussures minimalistes touche un public de plus en plus large, notamment des coureurs récréatifs pratiquant des distances plus longues (> 5 km). Or ce type de coureurs constitue une part importante des prises en charge kinésithérapiques basées sur le traitement des blessures liées à la course à pied. Ainsi, on peut penser que cet élément constitue une réelle limite et on peut s'interroger sur la pertinence clinique de cette étude dans le cadre de notre prise en charge kinésithérapique.

De la même manière, **Sinclair et al., 2014** ont choisi une vitesse de course de 14,4 km/h pour leur étude. Cette étude a été effectuée sur des hommes coureurs récréatifs, courant au moins 3 fois par semaine et au moins 35 km par semaine. Or dans la pratique de la course à pied actuelle, la majorité des coureurs récréatifs ne courent pas à des vitesses si élevées quotidiennement.

Ainsi, là encore nous pouvons nous demander si ce choix de détail d'intervention ne constitue pas à nouveau une limite.

Au sein des études de **Bergstra et al., 2015** et **Atlaman et al., 2015**, peu de précision sont apportés quant au protocole de l'intervention. En effet, **Bergstra et al., 2015** précise juste que les participantes devront courir sur une piste de 22 m de long avec chaussures minimalistes et maximalistes afin d'analyser les pressions plantaires mais aucune information sur la vitesse ou le temps n'a été donné. Et dans l'étude **Atlaman et al., 2015** nous savons juste que les participants devront effectuer 50% de leur kilométrage annuel en chaussures minimalistes et les 50% restants en chaussures conventionnelles.

Pour finir, le revêtement du sol (différents dans les articles) constitue lui aussi une limite. En effet les coureurs récréatifs ou professionnels peuvent courir sur du goudron, des pistes d'athlétisme, des chemins de forêt plus ou moins accidenté et vallonnés.

➤ La chaussure minimaliste

Avant de présenter cet aspect, nous devons tout d'abord définir une notion fondamentale, la notion d'« indice minimaliste ».

Esculier et son équipe [9] ont tenté de définir la chaussure minimaliste par un consensus de plusieurs auteurs. Ils ont alors proposé la notion d'« indice minimaliste ». Cet indice se calcule à partir de plusieurs paramètres (**Annexe 4**) :

- Le poids de la chaussure
- L'épaisseur du talon
- Le drop
- Les différentes technologies de stabilité et de contrôle du mouvement
- La flexibilité longitudinale et torsionnelle

On obtient alors un indice allant de 0 à 100% (**Annexe 5**). Le pourcentage 50% correspond à l'indice intermédiaire entre chaussures dites « minimalistes » et chaussures dites « traditionnelles ».

Cet indice permet ainsi de situer les différents types de chaussures sur un continuum allant de la chaussure traditionnelle présentant un maximum d'interfaces entre le pied et le sol à la chaussure minimaliste pure présentant quant à elle le minimum d'éléments modifiant l'interaction naturelle du pied avec le sol.

Par conséquent, il existe un large éventail de chaussures et on ne peut considérer arbitrairement une chaussure comme purement « traditionnelle » ou purement « minimaliste ». Qu'en est-il des chaussures utilisées dans les études incluses dans notre revue ?

Parmi les 6 études de cette revue, quelques-unes précisent le modèle de chaussures minimalistes utilisées :

Études	Chaussure minimaliste (% indice minimaliste)	Chaussure conventionnelle/ maximaliste (% indice minimaliste)
Atlaman et al., 2015	/	/
Bergstra et al., 2015	Merrel™ Pace Glove (96%)	Dutchy™
Fuller et al., 2016	/	/
Fuller et al., 2017	Asics Piranha SP4 (72%)	Asics Gel Cumulus (12%)
Ryan et al., 2014	Vibram 5-Finger (96%)	Nike Pegasus (28%)
Sinclair et al., 2014	Vibram 5-Finger (96%)	Saucony Pro Grid Guide II (28%)

L'indice de seulement 72% des chaussures minimalistes de l'étude de **Fuller et al., 2017** détonne par rapport à l'indice de 96% des articles de **Ryan et al., 2014** et **Sinclair et al., 2014**. Cette différence de cotation pourrait donc biaiser les résultats de la catégorie « chaussures minimalistes ». En effet, hormis un poids plus léger (138 g au lieu de 204 g) et une flexibilité plus importante, la chaussure minimaliste de **Fuller et al., 2017** est plus proche de la chaussure dite partiellement minimaliste (indice minimaliste 66%).

Le marché des chaussures minimalistes est de plus en plus vaste et nous ne pouvons pas réduire la chaussure minimaliste à un modèle particulier. Cette aspect n'est pas négligeable du point de vue clinique. En effet, dans le cadre de notre pratique nous serons amenés à traiter des patients utilisant différents modèles de chaussures et nous devrons aussi conseiller nos patients parmi un choix varié de références. Nous devons par conséquent tenir compte de cette limite dans l'interprétation de ces résultats.

➤ Validité interne

Parmi les 6 études, 1 étude a une validité interne évaluée à 8/10 sur l'échelle Pedro. On note 3 études qui récoltent un score de 7/10 et enfin 1 étude avec un score légèrement plus faible à 5/10.

La majorité des études présentent des biais relatifs du fait que les sujets, les thérapeutes et les examinateurs ne soient pas « en aveugle » (items 5, 6 et 7 de l'échelle Pedro).

Dans le cadre de ces études, il semble difficile que les sujets et thérapeutes soient « en aveugle » étant donné l'utilisation de chaussures aux caractéristiques facilement reconnaissables. Cependant, pour certains paramètres (pressions plantaires, données de plateforme de force...) il semble plus facilement envisageable que les examinateurs soient en aveugle, permettant ainsi de supprimer un biais.

Cela serait applicable si les examinateurs se contentaient d'analyser les différentes données chiffrées recueillies lors des expérimentations, sans avoir assisté à ces dernières. Cela permettrait alors de supprimer un biais pour ces études.

Tout au long de cette discussion nous avons mis en évidence un certain nombre de points à prendre en compte dans l'analyse de nos résultats. Cependant, malgré ces éléments, plusieurs résultats similaires sont fréquemment retrouvés dans l'ensemble de ces études et il semble donc pertinent de considérer la cohérence de ces derniers, tout en gardant un certain recul en lien avec les aspects soulevés précédemment.

4.1.2.2 Évènements indésirables

Aucune des études n'a rapporté de graves évènements indésirables qui pourraient être associés au port de chaussures minimalistes, mais les données sur ce résultat étaient très limitées.

4.2 Applicabilité des résultats

Avant d'évaluer la possibilité de généraliser les résultats de cette revue dans la pratique clinique, il a été nécessaire de faire le point sur deux choses : l'efficacité et la sécurité du traitement étudié, et le caractère complet ou incomplet des résultats rassemblés.

L'applicabilité des résultats d'une étude est essentielle. Une simple interprétation des résultats et l'analyse des statistiques qui sont présentées, n'est pas suffisante pour conclure de l'efficacité ou non d'une intervention. Il est nécessaire que le lecteur de l'étude sache dans quelles mesures les résultats sont applicables. Dans ce cas on peut se demander à qui les résultats sont applicables ? Quelle intervention donne ces résultats ? A quel comparateur est opposée l'intervention ? Quels sont les critères de jugements sur lesquels reposent les résultats ?

4.2.1 La population

Il est primordial de savoir sur quels patients l'intervention peut être efficace. L'échantillon d'une étude n'est qu'un échantillon de la population générale et il ne reflète pas exactement toute la variabilité individuelle que l'on peut y retrouver. Lors de la mise en place d'un protocole expérimental, les auteurs cherchent toujours quelle serait la taille idéale de l'échantillon. Ce dernier doit être suffisamment important pour être le plus fidèlement représentatif de la population générale.

Néanmoins, il doit être le plus restreint possible car dans le cas contraire, la gestion de l'essai en serait d'autant plus complexe et engendrerait de nombreux coûts supplémentaires.

Les études incluses proviennent des 4 coins du monde (Angleterre, Australie, Canada, États Unis et Pays Bas). Les populations ethniques représentées par les différentes études sont donc probablement différentes. Une analyse statistique des sous- groupes par pays d'étude serait nécessaire pour voir s'il existe une différence significative dans les effets du port de la chaussure minimaliste entre ces pays. À ce jour, il est donc difficile d'affirmer avec certitude que les résultats de cette revue s'appliquent à différentes populations ethniques.

Comme trois des études comprenaient uniquement des hommes, une comprenait uniquement des femmes et qu'aucune preuve ne suggérait que les effets du port de la chaussure minimaliste variaient selon le sexe, on peut supposer que l'applicabilité des résultats de cette revue n'est pas limitée par le sexe des participants, mais cela reste incertain.

Toutes les études ont été menées sur des participants adultes étant des coureurs récréatifs ou confirmés. La plupart des études ont rapporté le niveau voire le détails des performances physiques par semaine des participants. Les résultats rassemblés dans cette revue semblent donc pouvoir s'appliquer aux coureurs masculins ou féminin, adultes étant des coureurs récréatifs ou confirmés mais on ne peut pas l'affirmer avec certitude.

4.2.2 L'intervention

La question clinique de cette revue de littérature est de constater les effets de la chaussure minimaliste dans la course à pied. De ce fait, dans toutes les études incluses, les auteurs ont pour objectif de tester les effets de cette intervention sur des coureurs. Ce qui est intéressant plus particulièrement n'est pas uniquement l'intervention en elle-même mais également son mode d'application et son protocole. Dans les études, les protocoles mis en place sont pour la plupart explicites mais ne sont pas tous identiques en tout point, allant de la simple course à pied sur une durée d'un an en réalisant 50% en chaussures minimalistes le reste en chaussures conventionnelles (**Atlaman et al., 2015**) jusqu'à un protocole d'entraînement de 12 mois afin d'aboutir à une course sur piste à 14,4 km/h (**Sinclair et al., 2014**).

Cette intervention nécessite plusieurs critères. Pour commencer il est nécessaire d'être apte à courir sur de longues distances et être un minimum entraîné. De plus, l'âge et la catégorie socio-professionnelle peuvent parfois être une contrainte.

La durée de l'intervention variait de 7 semaines (**Bergstra et al., 2014**) à 12 mois (**Atlaman et al., 2015, Ryan et al., 2014 et Sinclair et al., 2014**). Les résultats ont été mesurés similairement tout au long du protocole dans chaque études.

Il est donc impossible d'affirmer que les résultats rassemblés dans cette revue puissent être obtenus sur une durée d'intervention plus courte.

Aucune étude n'a rapporté la survenue d'évènements indésirables graves qui pourraient être associés à la pratique de la course à pied avec chaussure minimaliste. Il est donc impossible d'affirmer avec certitude que cette pratique est sans risque pour tout individu effectuant la course à pied récréativement ou en compétition.

4.2.3 Les comparateurs

L'utilisation d'un comparateur est essentielle pour conclure à l'efficacité d'un traitement. Toutes les études de cette revue en font la démonstration. On note que tous les comparateurs sont identiques : course avec chaussures minimalistes ou course en chaussures maximalistes/conventionnelles. Certaines études ont inclus un intermédiaire dans leur protocole : la chaussure partiellement minimaliste (**Ryan et al., 2014**).

4.2.4 Les critères de jugements

L'objectif de ce mémoire étant d'étudier les effets de la chaussure minimaliste sur les blessures, les douleurs, les caractéristiques biomécanique de la course et les contraintes anatomiques. Ces critères correspondent donc aux critères de jugement sur lesquels nous nous sommes basés en étudiant les articles.

Nous n'avons pas préciser de critères de jugement secondaires, en effet nous avons établi ces 4 groupes en partant sur le principe qu'aucun critères n'est plus important qu'un autre afin de connaître les effets de cette intervention.

4.3 Qualité des preuves et biais potentiels de la revue

Pour une revue de littérature, déterminer le niveau de qualité des données scientifiques collectées signifie « évaluer la capacité de(s) étude(s) à répondre à la question posée » selon la Haute Autorité de Santé (HAS) [29].

Le niveau de preuve dans les études est jugé à la fois sur la correspondance de chaque étude à un cadre de recherche (question posée, population étudiée et critères de jugement) et sur différentes caractéristiques, dont l'adéquation du protocole d'étude à la problématique posée et l'existence ou non de biais importants dans la réalisation de l'étude.

➤ Cadre de recherche de type protocole utilisé

La problématique posée est une question de type thérapeutique cherchant à évaluer l'efficacité d'une intervention (chaussure minimaliste) sur les manifestations physiques et cliniques chez les coureurs à pied. Le protocole préférentiellement proposé pour répondre à

ce type de problématique est l'étude contrôlée randomisée (RTC), qui fournit des données scientifiques de qualité élevée.

Les études incluses dans cette revue étaient toutes des RCTs, qui répondaient aux critères de jugement établis et qui incluaient uniquement des participants ayant des profils similaires. Le type de protocole utilisé dans les études incluses est donc en adéquation avec la problématique posée.

La présente revue de littérature a pour objectif d'apporter une réponse à la question clinique posée, avec un haut niveau de preuves. Elle est donc pour cela une revue systématique. En suivant une méthodologie préétablie on s'assure ainsi d'une certaine rigueur. Toutes les études incluses sont des essais cliniques contrôlés randomisés, il s'agit du design d'étude présentant le niveau de qualité de preuves le plus important.

La HAS délivre des recommandations de grade permettant de faire une appréciation de la qualité des preuves des études scientifiques en santé. Selon la HAS, il existe trois grades qui sont :

- Grade A : La recommandation est basée sur des preuves scientifiques rapportées par des études présentant des niveaux de preuves forts.
- Grade B : La recommandation est basée sur des présomptions scientifiques rapportées par des études présentant des niveaux de preuves intermédiaires.
- Grade C : La recommandation est basée sur des études présentant des niveaux de preuve moindre.

Tableau 4.1 Grade de recommandation de la HAS

Grade des recommandations	Niveau de preuve scientifique fourni pour la littérature
<u>Grade A</u> : Preuve scientifique établie	Niveau 1 : ▪ Essais comparatifs randomisés de forte puissance ; ▪ Méta-analyse d'essais comparatifs randomisés ; ▪ Analyse de décision fondée sur des études bien menées.
<u>Grade B</u> : Présomption scientifique	Niveau 2 : ▪ Essais comparatifs randomisés de faible puissance ; ▪ Études comparatives non randomisées bien menées ; ▪ Études de cohortes.
<u>Grade C</u> : Faible niveau de preuve scientifique	Niveau 3 : ▪ Études cas-témoins Niveau 4 : ▪ Études comparatives comportant des biais importants ; ▪ Études rétrospectives ; ▪ Séries de cas ; ▪ Études épidémiologiques descriptives (transversale, longitudinale).

En se basant sur ces grades de recommandation, pour la présente revue, il semble que le grade B soit celui qui est le plus indiqué. Effectivement, les études qui sont incluses sont toutes des essais cliniques contrôlés randomisés, mais la puissance de ces derniers est faible notamment dû à leur échantillon trop restreint.

Ainsi, il serait nécessaire pour conclure avec plus de certitudes, que soient réalisées à l'avenir, des études avec des échantillons plus importants, une rigueur méthodologique et d'analyse statistique plus importantes.

➤ Risque de biais

La principale source de biais de toute œuvre écrite est son auteur. La présente revue ne déroge pas à cette règle et ainsi son biais principal est son rédacteur. Bien que, lors d'une telle rédaction, l'objectif est d'être le plus neutre possible, l'opinion de celui qui l'a rédigée transparaît toujours.

Lors du traitement d'une information, chaque individu s'en approprie les éléments d'une façon qui lui est propre et unique. Ce biais est inhérent à l'esprit humain et il ne peut donc pas être totalement éliminé. C'est ce que l'on appelle : **le biais cognitif**.

Le **biais de confirmation** est le fait que l'auteur ait pu faire en sorte de prendre et/ou d'éliminer les données ou les articles allant dans le sens de sa propre interprétation de la réponse clinique, et cela de façon inconsciente. Il est possible de limiter au maximum cette source de biais en permettant à plusieurs auteurs de faire le travail de recherche et de traitement des informations. La présente revue étant un travail de fin d'étude, elle est totalement personnelle et représentative de l'opinion de son seul auteur.

L'évaluation des biais possibles d'une revue systématique doit être réalisée avec l'outil le plus adapté. La Grille AMSTAR ou A Measurement Tool to Assess Systematic Reviews est un instrument de mesure de la qualité méthodologique des revues de littérature. Elle se compose de 11 items reposant sur des éléments méthodologiques particuliers aux revues systématiques. La présente revue a donc été soumise à cette grille afin de s'assurer de sa bonne qualité méthodologique [30].

Tableau 4.2 Récapitulatif de la grille AMSTAR pour la présente revue

Items de la grille AMSTAR	Réponse	Justifications
<u>Item 1</u> : Un plan de recherche établi a priori est-il fourni ?	Oui	La question de recherche et les critères d'inclusion des études ont été déterminés avant le début de la revue de littérature.
<u>Item 2</u> : La sélection des études et l'extraction des données ont-ils été confiés à au moins deux personnes ?	Non	Cette revue de littérature fait l'objet d'un mémoire de fin d'étude, je suis donc la seule personne à avoir extrait les données.
<u>Item 3</u> : La recherche documentaire était-elle exhaustive ?	Oui	Au moins trois sources électroniques ont été utilisées. La recherche documentaire est datée, et comprend plusieurs sources électroniques. Les mots-clés utilisés ont été décrits dans la partie méthode ainsi que la stratégie complète de recherche.
<u>Item 4</u> : La nature de la publication (littérature grise, par exemple) était-elle un critère d'inclusion ?	Non	Nous n'avons pas utilisé de base de données spécifiques pour la recherche de la littérature grise. Néanmoins, plusieurs sources ont servi à enrichir les recherches scientifiques de notre mémoire comme des livres ou des reportages.
<u>Item 5</u> : Une liste des études (incluses et exclues) est-elle fournie ?	Oui	Le résumé des études incluses est disponible en (Annexe 2) et la liste des études exclues se trouve dans la partie résultat 3.1.2
<u>Item 6</u> : Les caractéristiques des études incluses sont-elles indiquées ?	Oui	Toutes les caractéristiques des études sont disponibles dans la partie résultat 3.1.3
<u>Item 7</u> : La qualité scientifique des études incluses a-t-elle été évaluée et consignée ?	Oui	La grille PEDro a été utilisée pour évaluer la qualité des RTCs.

<u>Item 8</u> : La qualité scientifique des études incluses dans la revue a-t-elle été utilisée adéquatement dans la formulation des conclusions ?	Oui	Les critères de jugement de chaque étude ont été analysés selon les biais potentiels et les paramètres que l'essai incluait.
<u>Item 9</u> : Les méthodes utilisées pour combiner les résultats des études sont-elles appropriées ?	Non	Cette revue de littérature ne comprend aucune méta-analyse.
<u>Item 10</u> : La probabilité d'un biais de publication a-t-elle été évaluée ?	Non	Dans ce mémoire, nous n'avons utilisé aucun outil graphique ou statistique pour un éventuel biais de publication
<u>Item 11</u> : Les conflits d'intérêts ont-ils été déclarés ?	Non applicable	Aucun conflit d'intérêt à déclarer dans le cadre de ce mémoire de fin d'étude.

Cette revue de littérature présente six items validés sur les onze de la grille, elle présente donc de nombreux biais.

Le premier biais d'une revue de littérature repose sur son auteur. Étant donné qu'il s'agit ici d'un mémoire de fin d'étude, cette recherche a été réalisée par une seule personne. Cela signifie qu'un seul regard a été posé sur les études lors du triage, sur le texte intégral des études pour en faire la notation sur la grille PEDro et sur l'analyse des statistiques effectuées.

Aucune littérature grise n'a été incluse dans cette revue. Cela signifie que les recherches ont été réalisées uniquement sur des études publiées officiellement, avec tous les risques d'oublis pour les études, qui pour certaines raisons, ne l'ont pas été. Les tests d'homogénéité n'ont pas été faits, de même pour les **biais de publication**. Les conflits d'intérêts n'ont pas été déclarés dans les articles étudiés, néanmoins cette revue n'en contient pas étant donné qu'il s'agit d'un mémoire de fin d'étude.

Différents risques de biais ont été relevés dans chaque étude incluse. L'importance de ces risques de biais a été évaluée à l'aide de l'outil « Risques de biais » de la Cochrane Collaboration, sous la forme d'un pourcentage attribué à chaque domaine de biais pour l'ensemble des études incluses.

Le risque de **biais de sélection** a été jugé **faible** à 80% pour la génération de séquence aléatoire et indéterminé à 20%. Le risque de biais de sélection a été jugé **faible** à 60% et **indéterminé** à 40% pour le secret d'assignation des participants à un groupe, pour l'ensemble des études incluses.

Le risque de **biais de performance** (insu des participants et intervenants) a été jugé **élevé** à 100% pour l'ensemble des études incluses.

Le risque de **biais de détection** (insu des évaluateurs) a été jugé **indéterminé** à 80% et **élevé** à 20% pour l'ensemble des études incluses.

Le risque de **biais de migration** (données de résultats incomplètes) a été jugé **indéterminé** à 80% pour l'ensemble des études incluses.

Le risque de **biais de notification** (rapport sélectif) a été jugé **faible** à 40% et **élevé** à 60% pour l'ensemble des études incluses.

L'évaluation des risques de biais a été difficile et comportait plusieurs incertitudes, ce qui constitue une limite importante dans cette revue. Globalement, il y a un risque de biais présumé, voire même **élevé** pour le **biais de performance**. Cependant, ce dernier paraît inévitable dans la réalisation d'études thérapeutiques basées sur l'administration d'un traitement physique.

Ainsi, le niveau de qualité des preuves pour chaque étude incluse a été jugé intermédiaire en raison de la présence de risque de biais **indéterminés** et en l'état actuel de l'analyse des études incluses réalisée dans cette revue. Ce niveau de preuve signifie que le protocole des études était « adapté pour répondre à la question posée mais la puissance était nettement insuffisante et/ou présentait des anomalies mineures »[31].

Lorsqu'elles étaient disponibles, toutes les études identifiées lors de la réalisation de cette revue ont été analysées et les résultats ont été rapportés qu'ils soient significatifs ou non. Cependant, il est possible que certaines études réalisées sur le sujet n'aient jamais été publiées et le risque de **biais de publication** a donc été jugé **indéterminé** pour cette revue.

4.4 Résumé de la discussion

Pour finir cette discussion, il semble fondamental de revenir sur l'objectif principal de ces recherches, l'application de ces données en rééducation.

Établissons alors un lien entre les éléments de discussion évoqués précédemment et l'application de ces données dans le cadre de notre pratique clinique.

Notre rôle, en tant que masseur-kinésithérapeute, est de proposer un traitement et un programme de prévention, adaptés à chacune des pathologies rencontrées ainsi qu'aux paramètres individuels propres à chaque patient.

Comme nous avons pu le voir, la localisation des blessures liées à la course à pied est variable et les conséquences de la course en chaussures minimalistes en terme de contraintes diffèrent selon les différentes articulations.

Au vue de cette recherche nous avons noté que l'utilisation des chaussures minimalistes était recommandée pour des pathologies de genou. Nous avons également noté que l'utilisation de ces chaussures pouvait être délétère sur le segment jambier ou le pied. Leur utilisation nécessite une adaptation et une prise en charge globale de l'individu.

Face à un stress, l'organisme a des capacités d'adaptation. Cependant ces capacités se mettent en place de manière progressive.

Une adaptation structurelle demande une vision globale des contraintes appliquées aux différentes structures. Ces contraintes dépendent à la fois des paramètres d'entraînement (une augmentation trop importante et trop rapide du volume d'entraînement, des modifications de la technique de course, une modification du matériel utilisé...) que des paramètres propres à l'individu (fatigue globale, stress ressenti, nutrition, sommeil...).

Nous avons pu voir que les modifications de répartition des contraintes sur l'organisme sont liées aux modifications biomécaniques entraînées par l'utilisation des chaussures minimalistes. Or ces recherches nous ont aussi montré que ces modifications biomécaniques ne sont pas systématiques.

Par conséquent, en prenant en compte ces résultats, nous pouvons noter que pour certains coureurs, l'utilisation de ce type de chaussures n'est pas bénéfique et qu'un travail de technique de course approfondi est alors plus adapté.

5. CONCLUSION

Problématique : « Quels sont les effets engendrés par le chaussage minimaliste chez le coureur à pied ? »

Nous constatons que l'utilisation de chaussures minimalistes engendre bien plusieurs effets sur le coureur à pied. Cette revue nous permet donc de les recenser, d'en avoir une vision globale et précise afin de les rendre utile à notre pratique kinésithérapique. Ces effets sont les suivants :

- Une modification du type de foulé (adoption de la foulée avant)
- La diminution du taux de charge globale
- La diminution des contraintes au niveau du genou
- L'augmentation des contraintes au niveau de l'avant-pied
- L'augmentation des contraintes au niveau de la cheville
- L'augmentation des contraintes au niveau du segment jambier

D'une part, dans cette revue il est démontré que cette modification de foulée permettrait de diminuer le taux de charge et ainsi de réduire le risque de blessure. Cependant, il est important de noter que le chaussage minimaliste doit impérativement être associé à l'adoption d'une foulée avec attaque avant/medio pied. Si certains coureurs conservent une attaque arrière pied malgré l'utilisation de chaussures minimalistes, cela augmente alors d'avantage le taux de charge et le risque de blessure. L'adoption d'une attaque arrière pied avec du minimalisme serait donc délétère.

D'autre part, ce type de chaussage présente un taux d'amortissement faible, ce qui conduit à une augmentation des contraintes sur l'avant du pied (métatarsiens notamment), le tendon d'Achille et le segment jambier et y augmenterait le risque de blessure.

En effet, cette revue nous permet aussi d'identifier différentes blessures liées à la course à pied. Au niveau du genou (syndrome fémoro-patellaire, syndrome de la bandelette ilio-tibiale, tendinopathie patellaire, gonarthrose), au niveau du segment jambier (syndrome du stress tibial, lésion des gastrocnémiens), d'autres au niveau de la cheville (tendinopathie achilléenne, entorse de l'articulation Talo-crurale) et enfin d'autres concernent le pied (fasciite plantaire, fracture de fatigue des métatarsiens) [32].

Au sein des cabinets de masso-kinésithérapie, les consultations s'organisent autour du traitement des blessures, de l'éducation thérapeutique sur la préparation sportive, les charges de travail et l'équipement dont le chaussage. Tout ça selon les connaissances spécifiques du kiné.

Pour en revenir au chaussage, l'interprétation des constats de cette étude ainsi que notre formation kinésithérapique en analyse biomécanique nous place dans une position favorable à la mise en place de séances de conseils.

Venons-en au fait, l'utilisation des chaussures minimalistes ne peut pas s'inscrire dans une logique binaire recommandant d'une part leur utilisation pour des pathologies localisées au

niveau du genou et la déconseillant d'autre part pour des pathologies localisées au niveau du segment jambier, de la cheville ou du pied.

Les modifications de biomécanique de course, et par conséquent les causes de survenue de ces blessures, sont multifactorielles.

De ce fait, notre rôle sera de déceler l'ensemble de ces facteurs responsables de l'apparition de lésion afin d'agir sur chacun d'eux. Il y a des paramètres liés aux facteurs intrinsèques (anatomie, stress, alimentation, sommeil...). Il y a des paramètres extrinsèques comme la préparation physique, l'apprentissage d'une foulée, un traumatisme. Le chaussage rentre dans ces facteurs extrinsèques, suite à l'étude, après avoir énumérer les conséquences entraînées par le port des chaussures minimalistes en terme de contraintes, nous pouvons alors penser que ces chaussures puissent constituer un outil de rééducation.

Notre prise en charge doit prendre la personne dans sa globalité, et donc s'inscrire dans une démarche holistique. C'est pourquoi au-delà du traitement purement structurel nous nous devons de nous attarder sur l'ensemble des paramètres mis en cause. Ou bien d'orienter vers des professionnels qualifiés dans le domaine mis en cause.

Précisons cependant un point important. L'utilisation de ce type de chaussures comme outil de rééducation ne doit représenter qu'un complément à l'ensemble des techniques kinésithérapiques nécessaire à la rééducation.

Si nous considérons la chaussure minimaliste comme un outil, elle peut avoir plusieurs fonctions. Elle peut être utilisée à la fois dans un but de réduction de contraintes sur certaines articulations (notamment au niveau du genou) que dans un but de mise en contrainte progressive de structures musculo-squelettiques de d'autres articulations (notamment le segment jambier, la cheville ou le pied.)

Si nous considérons la chaussure minimaliste comme équipement sportif, elle peut potentialiser l'action de certains groupes musculaires afin de rendre le sportif plus performant. Prenons pour exemple l'action du long fléchisseur de l'hallux ou du tendon d'Achille dans leur rôle de restitution d'énergie élastique.

En revanche, il est primordial de maîtriser son utilisation afin de prévenir d'éventuelles lésions associées. Il est donc nécessaire de mettre en place un protocole précis devant respecter un certains nombres de caractéristiques :

- Un programme de course progressif
- Des exercices de prévention : renforcement, proprioception, mobilité
- Un travail de technique de course

Suite à ce travail de recherche, nous avons pu tirer de ces résultats des éléments très intéressants quand à l'utilisation des chaussures minimalistes dans le cadre de la rééducation du coureur à pied. Cependant, il faut garder en tête que l'utilisation de ces chaussures n'est qu'un outil pour amener et potentialiser des modifications biomécaniques lors de la course. Ces modifications biomécaniques n'étant pas systématiques, retenons avant-tout, dans le cadre de la rééducation, les intérêts biomécaniques d'une attaque avant ou médio-pied.

La notion fondamentale de notre profession est l'adaptation de notre rééducation au patient et cela en considérant le patient dans son intégralité. Par conséquent l'utilisation de ce type de chaussures comme outil adjuvant à notre arsenal de techniques kinésithérapiques ainsi que nos conseils sur le choix du modèle adapté dépendra de l'ensemble des paramètres propres à chaque patient et à chaque pratique.

Après avoir détaillé l'utilisation des chaussures minimalistes comme outil de rééducation dans le cadre des blessures liées à la course à pied, il me semble judicieux de préciser un dernier élément quant au rôle du kinésithérapeute.

La course à pied connaît actuellement un essor considérable dans notre société et l'intérêt pour ce type de chaussures est grandissant au sein de la communauté de coureurs [3].

C'est alors que je souhaite attirer l'attention sur notre rôle en tant qu'acteur de prévention. Il est fondamental, en tant que masseur-kinésithérapeute, de sensibiliser le grand public à ce type de chaussures et aux potentielles conséquences entraînées par leur utilisation afin de prévenir les effets délétères liés à une utilisation intensive prématurée et non adaptée.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Le marché du running en France, Ouest France, 2020.
- [2] Guide de promotion, consultation et prescription médicale d'activité physique et sportive pour la santé chez les adultes, Haute Autorité de santé, 2018.
- [3] La course à pied, un marché en plein essor, Les Echos, 2017.
- [4] Le top 10 des blessures du runners, Le runner, 2012.
- [5] C. Barras, E. H.-F. Physiothérapie, and V. Donnet, CHAUSSURES MINIMALISTES : QUELLE INFLUENCE SUR LE TAUX DE BLESSURES ET LES DOULEURS ?
- [6] Minimalisme : simple mode ou vrai changement ? La clinique du coureur.
- [7] Chaussure minimaliste, La clinique du coureur.
- [8] F. Leboeuf, F. Achard de Leluardière, P. Lacouture, J. Duboy, F. Leplanquais, A. Junqura, Biomécanique de la course, 2006.
- [9] Indice minimaliste, La Clinique du coureur.
- [10] Vos chaussures de course sont-elles minimalistes ? La Clinique du coureur.
- [11] Index minimalist, Le blog Fitmy run.
- [12] R. N. van Gent, D. Siem, M. van Middelkoop, A. G. van Os, S. M. A. Bierma-Zeinstra, and B. W. Koes, Incidence and determinants of lower extremity running injuries in long distance runners : A systematic review. British Journal of Sports Medicine, vol. 41, no. 8. pp. 469–480, Aug. 2007.
- [13] D. Pr Jean-Benoit Morin, C. Pierre Samozino, P. de Dirk Clercq, R. Caroline Nicol, and E. Pr Guillaume Millet, Marlène Giandolini, 2015.
- [14] National library of medicine, PubMed.
- [15] Cochrane Library.
- [16] Physiotherapy Evidence Database, PEDro.
- [17] La Clinique du coureur.
- [18] Google Scholar.
- [19] MeSH INSERM.
- [20] S. Rostagno, Mémoire de fin d'étude : la revue de littérature, 2019.
- [21] L. Malisoux, N. Delattre, A. Urhausen, and D. Theisen, Shoe cushioning, body mass and running biomechanics as risk factors for running injury : A study protocol for a randomised controlled trial. BMJ Open, vol. 7, no. 8, 2017.
- [22] R. T. Lewinson and D. J. Stefanyshyn, Effect of a Commercially Available Footwear Insole on Biomechanical Variables Associated with Common Running Injuries. Clinical Journal of Sport Medicine, vol. 29, no. 4, pp. 341–343, Jul. 2019.
- [23] K. Hollander, D. Liebl, S. Meining, K. Mattes, S. Willwacher, and A. Zech, Adaptation of Running Biomechanics to Repeated Barefoot Running : A Randomized Controlled Study. American Journal of Sports Medicine, vol. 47, no. 8, pp. 1975–1983, Jul. 2019.

- [24] Une blessure de course à pied, c'est quoi ? A modified Delphi approach 2015. La clinique du coureur.
- [25] Sinclair J, Tibiocalcaneal kinematics during barefoot and in barefoot-inspired shoes in comparison to conventional running footwear.
- [26] J. Sinclair, J. Richards, J. Selfe, J. Fau-Goodwin, and H. Shore, The influence of minimalist and maximalist footwear on patellofemoral kinetics during running. *Journal of Applied Biomechanics*, vol. 32, no. 4, pp. 359–364, Aug. 2016.
- [27] J. Sinclair, J. Richards, and H. Shore, Effects of minimalist and maximalist footwear on Achilles tendon load in recreational runners. *Comparative Exercise Physiology*, vol. 11, no. 4, pp. 239–244, 2015.
- [28] R. Wang, D. H. Fukuda, P. Cheng, Y. Hu, J. R. Stout, and J. R. Hoffman, Differential effects of speed on two-dimensional foot strike pattern during barefoot and shod running in recreationally active men. *Sports Biomechanics*, vol. 19, no. 4, pp. 438–451, Jul. 2020.
- [29] Haute Autorité de Santé.
- [30] L. Brosseau et al., The French-Canadian version of the Assessment of Multiple Systematic Reviews (AMSTAR) tool. *Physiotherapy Canada*, vol. 69, no. 1. University of Toronto Press Inc., pp. 20–29, Dec. 01, 2017.
- [31] Niveau de preuve et gradation des recommandations de bonne pratique, HAS santé.
- [32] R. N. van Gent, D. Siem, M. van Middelkoop, A. G. van Os, S. M. A. Bierma-Zeinstra, and B. W. Koes, Incidence and determinants of lower extremity running injuries in long distance runners : A systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, vol. 41, no. 8. pp. 469–480, Aug. 2007.
- [33] A. R. Altman and I. S. Davis, Prospective comparison of running injuries between shod and barefoot runners.
- [34] S. A. Bergstra et al., Running with a minimalist shoe increases plantar pressure in the forefoot region of healthy female runners. *Journal of Science and Medicine in Sport*, vol. 18, no. 4, pp. 463–468, 2015.
- [35] J. T. Fuller, J. D. Buckley, M. D. Tsiros, N. A. T. Brown, and D. Thewlis, Redistribution of mechanical work at the knee and ankle joints during fast running in minimalist shoes. *Journal of Athletic Training*, vol. 51, no. 10, pp. 806–812, Oct. 2016.
- [36] J. T. Fuller, D. Thewlis, J. D. Buckley, N. A. T. Brown, J. Hamill, and M. D. Tsiros, Body Mass and Weekly Training Distance Influence the Pain and Injuries Experienced by Runners Using Minimalist Shoes : A Randomized Controlled Trial. *American Journal of Sports Medicine*, vol. 45, no. 5, pp. 1162–1170, Apr. 2017.
- [37] M. Ryan, M. Elashi, R. Newsham-West, and J. Taunton, Examining injury risk and pain perception in runners using minimalist footwear. *British Journal of Sports Medicine*, vol. 48, no. 16, pp. 1257–1262, 2014.
- [38] J. Sinclair, Effects of barefoot and barefoot inspired footwear on knee and ankle loading during running. *Clinical Biomechanics*, vol. 29, no. 4, pp. 395–399, 2014.

ANNEXE 1 : L'histoire de la chaussure de course à pied

1920 Seven-time Boston Marathon winner Clarence DeMar and others run the roads in this shoe with crepe rubber soles and leather uppers. The Kitching Company makes custom-fitted models that weigh less than 10 ounces. 	1967 First shoe review appears in <i>Distance Running</i> magazine, precursor to <i>Runner's World</i>. 	1977 Jim Fixa's red Onitsuka Tiger racing flats grace cover of his #1 bestseller, <i>The Complete Book of Running</i>. 
1940s Most top runners race track and cross country, so spikes are better than road shoes. A company in Wimbeldon, England is among those making custom-fitted spikes. 	1972 Athlete's Foot and athletic shoe stores mean runners have buying options beyond sporting goods stores or mail order. 	Late 1970s Almost all running shoe manufacturing moves overseas. New Balance only major company to retain some U.S. production, with five factories in Maine and Massachusetts. 
1951 Japan's Shigeo Tasaki wins Boston Marathon in split toe shoe with separate compartment for big toe. 	1972 Blue GOO adhesive hits market. Originally formulated for repair of tennis shoes, glue applied to insoles becomes way for budget-conscious runners to extend shoe life. Product produces bond, firm foot arches, and tends to flit off in the rain. 	1979 First Nike Air shoe, Tailwind, released. Soon most companies have proprietary cushioning systems. 
1960 Running barefoot, shaka Bikila of Ethiopia wins Olympic Marathon in world record. Four years later, he wins Olympic Marathon in world record with shoes. Out conclusion: Bikila is really good! 	1974 First Nike Waffle Trainer released, two years after first Nike "Moon Shoe" distributed to runners at Olympic Trials. 	1982 New Balance 990 first \$100 running shoe. Company takes out ads celebrating milestone, with emphasis on shoe's plushness and luxury features. 
1960 New Balance Trackster is one of just the first mass-produced running shoes. Sole with deep ridges advertised to help prevent shoe splits. At just under 11 ounces, shoe retails for \$25. 	1976 Companies begin to release women's running shoes, put on a narrower last. 	1986 Adidas Microspacer features electronic pedometer attached into the tongue. First attempt to meld electronics with running shoes. 
1995 Kenyan Christopher Kiprotis wins world steeplechase title with nothing on feet except tape on a few toes. It's the most recent world or Olympic title won barefoot. 	1977 Brooks Vantage first mass-market running shoe with an EVA midsole and "energy wedge" said to control pronation. Branding modern running shoe's emphasis on cushioning and motion control. 	1991 Reebok releases Pump running shoe, with air chambers on upper said to allow customized fit. 
1996 Michael Johnson wins three gold medals at Atlanta Olympics in appropriately gold spikes. 	2005 Vibram releases FiveFingers shoe, originally made for kayaking and other outdoor activities. After born to run becomes bestseller in 2006. FiveFingers sales triple annually for a couple years. 	2013 New Balance introduces customized, 3D-printed spike plate; company says it hopes to extend process to everyday shoes. 
2004 First version of Nike Free released. Shoe initially marketed as "training tool" to strengthen feet becomes early minimalist model. At same time, bulk of sales are to non-runners. 	2006 In conjunction with Apple, Nike launches iNike. Sent in shoe transmitter to sync activity and other data with popular consumer electronics. 	2014 Companies compete to introduce lightest road racing flat on market, with some models in smaller sizes weighing less than 3 ounces. 
	2009 First Nike One One minimally cushioned shoe released, sign that minimalist backlash isn't far away. 	2044 What will runners wear 30 years from now? One possibility: shoes made from proteinoids, or synthetic materials that have properties of organic matter, including self-repair. 

Douglas S, Fuehrer D. A brief history of the running shoe.

<https://www.runnersworld.com/gear/a20787065/a-brief-history-of-the-running-shoe/>

ANNEXE 2 : Tableau récapitulatif des études incluses

Auteur, année	Pays	Patients	Taille échantillon	Âge moyen	Intervention	Protocole	Durée	Outcome
Atlaman et al., 2015	États-Unis	Coureurs de plus de 10 miles et couru plus de 6 mois avant l'étude	GE : n = 107 GC : n = 94	GE : 38,6 ans GC : 34,6 ans	GE courir 50% de leur kilométrage annuel pieds nus/minimaliste et les 50% restants devaient être en chaussure conventionnelle.	Kilométrage annuel habituel	1 an	Taux et zone de blessure
Bergstra et al., 2014	Pays-Bas	18 femmes Coureuses en club d'athlétisme	n = 18	Entre 18 et 55 ans	Course à pied en chaussure minimaliste et maximaliste	Course sur une piste de 22m (avec 5 essais)	7 semaines	Pression plantaire Biomécanique de foulée
Fuller et al., 2016	Australie	Coureurs masculin de fond entraînés Foulées arrière pied Pas d'expérience en chaussure minimaliste	n = 26	Entre 18 et 40 ans	Course à pied en chaussure minimaliste et en chaussure traditionnelle	Course sur piste à 18 km/h avec 5 essais par conditions		Cinématique Travail articulaire Type de foulée Force de réaction
Fuller et al., 2017	Australie	Coureurs masculin Attaque talon Pas d'expérience en chaussure minimaliste	n = 61	Entre 18 et 40 ans	Course à pied en chaussure minimaliste et en chaussure traditionnelle	6 semaines d'entraînement commun aux 2 groupes Puis entraînement individuel	26 semaines	Biomécanique de la course Force musculaire du triceps surale Densité minérale osseuse Douleurs Blessures
Ryan et al., 2013	Canada	Coureurs masculins récréatifs qui avaient au moins 5 ans d'expérience Pas d'expérience en chaussure minimaliste	Chaussure neutre : n = 34 Partiellement minimaliste : n = 34 Chaussure minimaliste : n = 35	Entre 19 et 50 ans	GE : course à pied en chaussure minimaliste GC : course à pied en chaussure neutre	1 semaine d'accommodation Augmentation progressive du temps de port de chaussure attribuées 4 à 4 séances / sem 15 à 30 km / sem	12 semaines	Blessures Scores d'invalidité du pied et de la cheville (FADI) Douleur
Sinclair et al., 2014	Angleterre	Coureurs masculins récréatifs effectuant au moins 3 fois / sem	n = 30	26 ± 5,5 ans	Course à pied avec chaussure minimaliste, maximaliste et pied nus.	Courir sur piste à 14,4 km/h (avec 10 essais)	12 mois	Force de contact Pression articulaire

ANNEXE 3 : Échelle PEDro

Échelle PEDro – Français

1. les critères d'éligibilité ont été précisés	non ☐	oui ☐	où:
2. les sujets ont été répartis aléatoirement dans les groupes (pour un essai croisé, l'ordre des traitements reçus par les sujets a été attribué aléatoirement)	non ☐	oui ☐	où:
3. la répartition a respecté une assignation secrète	non ☐	oui ☐	où:
4. les groupes étaient similaires au début de l'étude au regard des indicateurs pronostiques les plus importants	non ☐	oui ☐	où:
5. tous les sujets étaient "en aveugle"	non ☐	oui ☐	où:
6. tous les thérapeutes ayant administré le traitement étaient "en aveugle"	non ☐	oui ☐	où:
7. tous les examinateurs étaient "en aveugle" pour au moins un des critères de jugement essentiels	non ☐	oui ☐	où:
8. les mesures, pour au moins un des critères de jugement essentiels, ont été obtenues pour plus de 85% des sujets initialement répartis dans les groupes	non ☐	oui ☐	où:
9. tous les sujets pour lesquels les résultats étaient disponibles ont reçu le traitement ou ont suivi l'intervention contrôle conformément à leur répartition ou, quand cela n'a pas été le cas, les données d'au moins un des critères de jugement essentiels ont été analysées "en intention de traiter"	non ☐	oui ☐	où:
10. les résultats des comparaisons statistiques intergroupes sont indiqués pour au moins un des critères de jugement essentiels	non ☐	oui ☐	où:
11. pour au moins un des critères de jugement essentiels, l'étude indique à la fois l'estimation des effets et l'estimation de leur variabilité	non ☐	oui ☐	où:

L'échelle PEDro est basée sur la liste Delphi développée par Verhagen et ses collègues au département d'épidémiologie de l'Université de Maastricht (Verhagen AP et al (1998). *The Delphi list: a criteria list for quality assessment of randomised clinical trials for conducting systematic reviews developed by Delphi consensus. Journal of Clinical Epidemiology, 51(12):1235-41*). Cette liste est basée sur un "consensus d'experts" et non, pour la majeure partie, sur des données empiriques. Deux items supplémentaires à la liste Delphi (critères 8 et 10 de l'échelle PEDro) ont été inclus dans l'échelle PEDro. Si plus de données empiriques apparaissent, il deviendra éventuellement possible de pondérer certains critères de manière à ce que le score de PEDro reflète l'importance de chacun des items.

L'objectif de l'échelle PEDro est d'aider l'utilisateur de la base de données PEDro à rapidement identifier quels sont les essais cliniques réellement ou potentiellement randomisés indexés dans PEDro (c'est-à-dire les essais contrôlés randomisés et les essais cliniques contrôlés, sans précision) qui sont susceptibles d'avoir une bonne validité interne (critères 2 à 9), et peuvent avoir suffisamment d'informations statistiques pour rendre leurs résultats interprétables (critères 10 à 11). Un critère supplémentaire (critère 1) qui est relatif à la validité "externe" (c'est "la généralisabilité" de l'essai ou son "applicabilité") a été retenu dans l'échelle PEDro pour prendre en compte toute la liste Delphi, mais ce critère n'est pas comptabilisé pour calculer le score PEDro cité sur le site Internet de PEDro.

L'échelle PEDro ne doit pas être utilisée pour mesurer la "validité" des conclusions d'une étude. En particulier, nous mettons en garde les utilisateurs de l'échelle PEDro sur le fait que les études qui montrent des effets significatifs du traitement et qui ont un score élevé sur l'échelle PEDro, ne signifie pas nécessairement que le traitement est cliniquement utile. Il faut considérer aussi si la taille de l'effet du traitement est suffisamment grande pour que cela vaille la peine cliniquement d'appliquer le traitement. De même, il faut évaluer si le rapport entre les effets positifs du traitement et ses effets négatifs est favorable. Enfin, la dimension coût/efficacité du traitement est à prendre compte pour effectuer un choix. L'échelle ne devrait pas être utilisée pour comparer la "qualité" des essais réalisés dans différents domaines de la physiothérapie, essentiellement parce qu'il n'est pas possible de satisfaire à tous les items de cette échelle dans certains domaines de la pratique kinésithérapique.

Dernière modification le 21 juin 1999. Traduction française le 1 juillet 2010



LA CHAUSSURE MINIMALISTE



CONFORT

Le «fit anatomique», caractérisé par une forme élargie de l'avant de la chaussure, se retrouve souvent dans les chaussures minimalistes. Cet espace optimal pour l'avant du pied est conçu de telle sorte que les orteils puissent bouger sans restriction et ainsi limiter les déformations possibles.



FLEXIBILITÉ

La flexibilité (longitudinale et torsionnelle) maximale permet au pied de bouger librement.



ÉPAISSEUR

Moins il y a d'amorti et d'épaisseur sous le pied, plus les perceptions du pied sont grandes et la foulée, protectrice et efficace.



DROP

Minimiser l'élévation du talon améliore la position de votre cheville et facilite ainsi une foulée plus naturelle.



TECHNOLOGIE DE STABILITÉ

Éviter les éléments de soutien visant à contrôler la pronation permet à votre pied de s'adapter plus librement au terrain.



POIDS

Le poids dans les pieds est très coûteux en énergie. Plus c'est léger, plus c'est performant!



Opposée à la chaussure moderne maximaliste de course à pied dite traditionnelle, la chaussure minimaliste se définit comme étant une chaussure interférant minimalement avec les mouvements naturels du pied, de par sa grande flexibilité, son faible dénivelé, son faible poids, sa faible épaisseur au talon et l'absence de technologies de stabilité et de contrôle du mouvement.*

La chaussure peut être classée à travers un continuum, appelé Indice minimaliste, qui s'appuie sur 5 caractéristiques : l'ÉPAISSEUR de la semelle, le dénivelé (DROP), la FLEXIBILITÉ, le POIDS et les TECHNOLOGIES STABILISATRICES.

* Définition approuvée par 42 experts provenant de 11 pays dans le cadre d'une étude Delphi (consensus d'expert). Esculier JF, Dubois B, Dionne C, LeBlond J, Roy JS. A consensus definition and rating scale for minimalist shoes. J Foot Ankle Res 2015; 8:42



www.LaCliniqueDuCoureur.com

<https://lacliniqueducoureur.com/coueurs/choisir-sa-chaussure-de-course/>



CHOISIR SA CHAUSSURE DE COURSE À PIED



L'Indice minimaliste est une échelle normative validée créée par 42 experts provenant des 5 continents qui permet de quantifier le niveau de minimalisme des chaussures de course. Retrouvez l'Indice minimaliste de vos chaussures de course sur LaCliniqueDuCoureur.com.

IMPORTANT : Lors d'une transition entre 2 types de chaussures, soyez **progressif** et comptez **1 mois pour chaque 10-20% de changement** d'Indice minimaliste.



www.LaCliniqueDuCoureur.com

<https://lacliniqueducoureur.com/indice-minimaliste/>

ABSTRACT

Contexte : La popularité de la course pieds nus ou avec des chaussures minimalistes a récemment augmenté en raison des allégations de prévention des blessures, d'amélioration de l'efficacité de la course et de meilleures performances par rapport à la course avec des chaussures de course. Les risques et les avantages potentiels de la course pieds nus ou avec des chaussures minimalistes n'ont pas encore été clairement définis.

Objectif : Le but de cette étude est d'examiner les effets des chaussures minimalistes par rapport aux chaussures traditionnelles, ou même maximalistes, sur les blessures, la biomécanique de la course, les pressions et contraintes articulaires et également sur la douleur.

Méthodologie : Les bases de données médicales PEDro, Pubmed et Cochrane library ont été consultées afin de rassembler 6 essais contrôlés randomisés (RCTs) pour cette revue. Les études devaient inclure des coureurs sans pathologie.

Résultats : Un total de 439 coureurs a été étudié lors de la course à pied, en comparant les deux styles de chaussures différents (minimaliste et maximaliste). Les résultats soutiennent les différences biomécaniques suivantes dans la course pieds nus par rapport à la course avec des chaussures : diminution du taux de charge global, de la contrainte du genou, mais une augmentation de contrainte de l'avant-pied, de la cheville et du segment de jambier. De plus, on conclut plus de blessures au mollet mais moins de blessures au genou et à la hanche chez les coureurs minimalistes et moins de fasciite plantaire.

Conclusion : Courir avec des chaussures minimalistes semble augmenter la probabilité de blessures et les changements dans la biomécanique de la course peuvent avoir des effets positifs et négatifs.

Mots clés : Course pieds nus, chaussures minimalistes et maximalistes, coureurs, douleur, blessure, biomécanique de la course, pression plantaire.

Background : The popularity of barefoot running or with minimalist shoes has recently increased due to claims of injury prevention, improved running efficiency and better performance compared to run with running shoes. The potential risks and benefits of running barefoot or with minimalist shoes have not yet been clearly defined.

Aim : The purpose of this study is to examine the effects of minimalist shoes compared to traditional, or even maximalist shoes , on injuries, running biomechanics, joint pressures and constraints and also on the pain.

Methods : The medical databases PEDro, Pubmed and Cochrane library were consulted to gather 6 randomized controlled trials (RCTs) for this review. The studies had to include runners without pathology.

Results : A total of 439 runners were studied when running, comparing the two different shoe styles (minimalist and maximalist). The evidence supports the following biomechanical differences in barefoot running compared to running with shoes : decrease of the global load rate, of the knee stress, but an increase of the stress of the forefoot, the ankle and the leg segment. In addition, there are more calf injuries but fewer knee and hip injuries in minimalist runners and less plantar fasciitis.

Conclusion : Running in minimalist shoes appears to increase the likelihood of injury and changes in running biomechanics may have both positive and negative effects.

Key words : Barefoot running, minimalist and maximalist shoes, runners, pain, injury, running biomechanics, plantar pressure.