



**HAL**  
open science

# Analyse biomécanique de la course sans chaussure chez les coureurs : revue de littérature

Quentin Voisin

► **To cite this version:**

Quentin Voisin. Analyse biomécanique de la course sans chaussure chez les coureurs : revue de littérature. Sciences du Vivant [q-bio]. 2023. dumas-04266593

**HAL Id: dumas-04266593**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04266593v1>**

Submitted on 31 Oct 2023

**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.

**ANALYSE BIOMÉCANIQUE DE LA COURSE À  
PIED NON CHAUSSÉE CHEZ LE COUREUR :  
UNE REVUE DE LITTÉRATURE.**

**VOISIN Quentin**  
**Directeur de mémoire : Mme CAORS Béatrice**

## REMERCIEMENTS

Ce mémoire a été réalisé avec le soutien de plusieurs personnes à qui je voudrai témoigner toute ma gratitude.

Tout d'abord je remercie mon Directeur de Mémoire, Mme CAORS Béatrice pour le temps accordé et son regard critique, ainsi que ses conseils pertinents pour avancer dans la rédaction de mon mémoire.

Je remercie également mes parents, VOISIN Jean-Michel et VOISIN Brigitte qui m'ont soutenu tout au long de ces études, plus particulièrement cette dernière année et qui ont su canaliser mon stress, m'encourager et m'aider dans la correction du mémoire. Je souhaite également remercier mon frère VOISIN Vincent qui m'a aidé dans la mise en page et la traduction de l'abstract.

Pour finir, je souhaite dire merci à mes amis pour ces quatre années d'études passées à leur côté et pour leur soutien sans faille. Notamment, LAFOND Juliette qui avec beaucoup de patience a su répondre à mes nombreuses interrogations.

## Liste des abréviations :

**CAP** : Course à Pied

**HAS** : Haute Autorité de Santé

**OMS** : Organisation Mondiale de la Santé

**RFS** : RearFoot Strike ; frappe arrière pied

**MFS** : MidFoot Strike ; frappe médio pied

**FFS** : ForeFoot Strike ; frappe avant pied

**FRS** : Force de réaction au sol

**PIP** : Pic d'Impact Passif

**CIO** : Comité International Olympique

**ECR** : Essai Contrôlé Randomisé

**ECNR** : Essai Contrôlé Non Randomisé

**PEDro** : Physiotherapy Evidence Data Base

**NOS** : Newcastle-Ottawa Scale

**DOMS** : Douleurs musculaires d'apparition retardées

**IMC** : Indice de Masse Corporelle

**IC** : Intervalle de Confiance

**SMD** : Différence moyenne Standardisée

# Table des matières

1	Introduction.....	1
1.1	Situation d’ancrage.....	1
1.2	La course à pied.....	2
1.2.1	Généralités .....	2
1.2.2	L’anatomie du Pied.....	3
1.2.3	Les Chaussures .....	3
1.3	Biomécanique de la Course à pied .....	5
1.4	Les attaques du Pas .....	10
1.5	Les blessures liées à la course .....	12
1.5.1	Définitions .....	12
1.5.2	Le syndrome fémoro-patellaire.....	12
1.5.3	Tendinite d’Achille.....	13
1.5.4	Périostite tibiale .....	13
1.5.5	L’aponévrosite plantaire ou Fasciite plantaire .....	13
1.5.6	Bandelette Ilio-tibiale .....	14
1.6	Les Facteurs de risques.....	14
1.7	Prévention des Blessures.....	14
1.8	Questionnement .....	15
2	Problématique.....	16
2.1	Hypothèse théorique.....	17
3	Méthode.....	18
3.1	Définition .....	18
3.2	Critère d’éligibilité .....	18
3.2.1	Types d’études.....	18
3.2.2	Population .....	18
3.2.3	Intervention.....	19
3.2.4	Critères de Jugements .....	19
3.3	Méthodologie de recherche des études .....	19
3.3.1	Sources documentaires investiguées .....	19
3.3.2	Equation de recherche .....	19
3.4	Sélection des études.....	20
3.5	Extraction des données .....	21

3.6	Evaluation de la qualité des articles .....	21
4	Résultats .....	23
4.1	Diagramme de Flux.....	23
	Identification .....	23
	Sélection .....	23
	Elégibilité .....	23
	Inclusion .....	23
4.2	Résultats de l'évaluation de la qualité des articles .....	25
4.3	Description des articles retenus.....	27
4.3.1	Description des objectifs .....	27
4.3.2	Description des populations.....	27
4.3.3	Description des interventions .....	28
4.3.4	Description des programmes d'entraînements .....	29
4.3.5	Description des critères de jugements.....	30
5	Résultats des articles.....	32
5.1	Da Silva, Camila C et al. 2020 .....	32
5.2	Hollander, Karsten et al. 2019.....	33
5.3	Thompson, M et al. 2016.....	35
5.4	Tam, Nicholas et al. 2016 .....	35
5.5	Bonacci, Jason et al. 2014.....	36
5.6	McCallion, Ciara et al. 2014.....	36
6	Discussion .....	40
6.1	Analyse des Résultats .....	40
6.2	Hypothèses.....	45
6.3	Comparaison de la Revue de Jonathan PL, Hall et al (2013) .....	46
6.4	Biais des études.....	46
6.5	Applicabilité des résultats .....	48
6.6	Qualité des preuves des études, biais potentiels et limites de la revue .....	49
6.6.1	Niveau de preuve et Grade de recommandation de la HAS .....	49
6.6.2	Biais de la Revue.....	50
6.6.3	Limite de la Revue .....	53
7	Conclusion .....	54
8	Bibliographie.....	55
9	Annexes .....	57

# 1 Introduction

## 1.1 Situation d'ancrage

De nos jours, courir est à la portée de tout le monde, du moment que les conditions physiques et la santé le permettent. C'est devenu un des sports les plus populaires au monde : 30 Millions de personnes le pratiquent aux Etats Unis. En Europe plus de 36% de la population sont des coureurs de loisirs. Et bien que ce soit une activité simple, la course permet de travailler un grand nombre de fonctions aussi bien articulaires que musculaires [1]. Elle permet de conserver et même d'améliorer la santé sur plusieurs points : pulmonaire, cardio vasculaire, cancer, diabète, ostéoporose, insomnie ainsi que diminuer le poids corporel. Cela a été démontré par l'américain James Fuller Fixx qui a écrit le best-seller « The Complete Book of Running » en 1977 à qui on attribue aux Etats Unis la popularité de la course car il démontre les bienfaits du « jogging » sur la santé.

L'engouement pour la course a augmenté au fil des années. En effet, c'est un sport qui nécessite peu de matériel et que l'on peut pratiquer n'importe où. Il est facile de progresser, de renforcer l'estime de soi, et de ressentir une sensation de bien-être (endorphines). Cela permet aussi de se libérer du quotidien, les sensations deviennent différentes (montée d'adrénaline lors de performances sportives), on peut tester et connaître ses limites au point de vue physique. Mais c'est surtout le moyen de se retrouver avec d'autres, de lier de nouvelles amitiés et de s'encourager mutuellement. La course apporte donc une socialisation et le plaisir d'appartenir à un groupe (courir avec des collègues, amis, en club, participer à des marathons)[2][3][4]

D'ailleurs, l'OMS préconise un plan d'action pour promouvoir l'activité physique afin de lutter contre la sédentarité. Il serait bon d'avoir une activité physique aérobie soutenue d'au moins 75 mn à 150 mn par semaine pour en retirer des bénéfices sur le plan de la santé.<sup>1</sup>

Cette activité physique très populaire à l'avantage de toucher des groupes de personnes variés. Dans les différents profils on retrouve : les coureurs d'élite comme les marathonien, traileurs et athlètes qui s'entraînent assidûment, les coureurs réguliers qui sortent au minimum une fois par semaine, et courent entre 5 à 10 km et les coureurs occasionnels.

Il faudra attendre les années 1970 pour entendre parler de running et non plus de course à pied (CAP). Années où les chaussures de course amorties ont commencé à se développer et où elles ont pu offrir aux coureurs un meilleur confort ainsi qu'un amorti pour les orteils, les talons et la voûte plantaire. [5]

Mais malgré des chaussures de plus en plus performantes de manière à rendre la foulée du coureur la plus confortable possible, les pathologies dues à la course à pied n'ont pas diminué. La CAP comporte des risques de blessures qui sont le plus souvent liés à une sollicitation excessive des membres inférieurs plutôt qu'à un traumatisme. On retrouve des facteurs biomécaniques qui engendrent des pathologies comme le syndrome de la bandelette ilio-tibiale, périostite tibiale, tendinite d'Achille, fasciite plantaire et syndrome fémoro-patellaire. Mais également des facteurs qui sont anatomiques (pieds plats, creux) et des erreurs d'entraînement (forces d'impact sur le corps à l'origine de microtraumatismes et surentraînement).

Aujourd'hui la tendance est de retrouver une foulée plus naturelle et ce en courant pieds nus. Cette pratique a commencé à se développer aux Etats Unis avec la parution du livre « Born to run » de Christopher Mc Dougall sorti en 2009. Il relate sa rencontre avec une tribu mexicaine : Les Tarahumaras, courant tous les jours pieds nus ou avec de simples sandales sur d'interminables distances sans se blesser. De même des scientifiques, comme le Dr Lieberman célèbre

---

<sup>1</sup> <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/337001/9789240014886-eng.pdf>

paléoanthropologue à l'université de Harvard, se sont intéressés à déterminer les différences entre courir avec des chaussures ou courir pieds nus [6]

## 1.2 La course à pied

### 1.2.1 Généralités

La course à pied avec la marche sont les deux modes de locomotion de l'être humain. La course serait la capacité acquise par les Australopithèques, depuis 4,5 millions d'années. Cette activité aurait été vitale pour lui que ce soit pour échapper à un danger, chasser une proie ou simplement se déplacer le plus rapidement d'un point à un autre.[7]

Les origines de la course à pied sont donc lointaines. Au fil du temps les enjeux évoluent et ne sont plus les mêmes. Utilisé initialement pour la chasse, la course à pied devient un sport. Il faut revenir à l'antiquité grecque pour en voir les débuts. En - 490 ans avant JC l'histoire veut qu'un messager « Philippidès » ait été envoyé depuis Marathon pour prévenir Athènes de la victoire des Grecs contre les Perses. La distance entre les deux villes est de 42 km. Ce dernier, épuisé par sa course, serait mort avant son arrivée. C'est ainsi, en son hommage, que les épreuves de course prirent grande part dans les jeux antiques. Puis par la suite d'autres traces de compétition furent trouvées notamment au Sud-Ouest de l'Angleterre (jeux de Coswold) ainsi qu'en Irlande et en Ecosse.

En 1896 le baron Pierre de Coubertin prend conscience de l'enthousiasme que peut susciter la course pour les Jeux Olympiques (JO). Et cet intérêt grandit en même temps que celui pour les JO.

Le premier marathon olympique moderne est gagné par un berger grec Spyridon Louis en 2h58m50s. En 1960 un inconnu remporte le marathon des JO de Rome en 2h15m16s. il s'agit d'Abebe Bikila, jeune éthiopien qui réalise cet exploit pieds nus.

Ainsi la course est quelque chose d'innée, qui n'a cessé d'évoluer et de se diversifier en passant du jogging permettant d'entretenir sa forme physique, aux épreuves de distance telles que le marathon, le trail, ou encore les classiques épreuves de vitesse sur piste (sprint).

Avant de définir le fonctionnement de cette CAP, nous allons rappeler l'anatomie du pied et la composition des chaussures.

## 1.2.2 L'anatomie du Pied

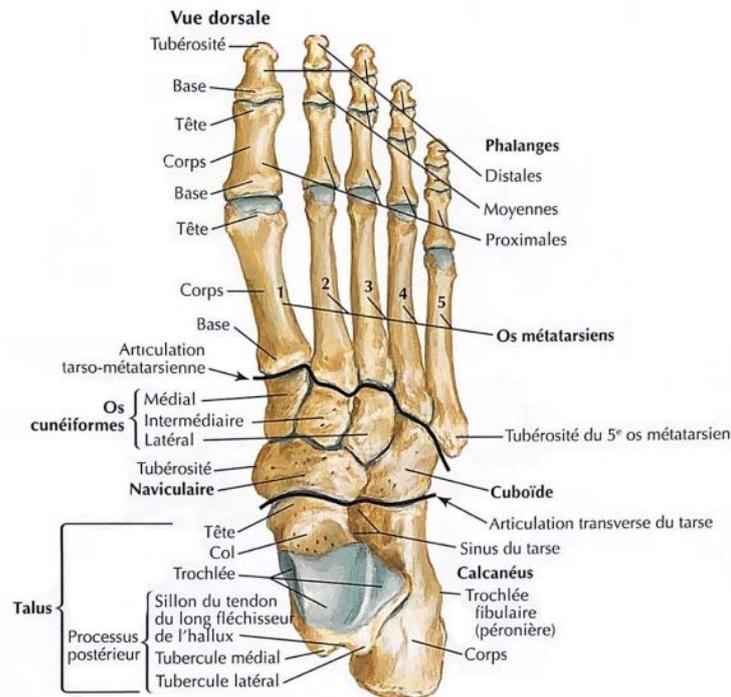


Figure 1 : Vue dorsale du pied (Netter planche 511)

Pour se déplacer, le coureur utilise l'intégralité de son corps, notamment le pied, qui est le premier point de contact avec le sol. C'est une structure complexe, pouvant soutenir 3 fois le poids du corps pendant la course. Il est constitué de 28 os, 57 articulations et d'un ensemble de tissus mous (ligaments, muscles, aponévrose). Les os sont ordonnés de façon à créer un arc longitudinal médian, latéral et transversal idéal pour porter le poids du corps et répartir les efforts dus à la marche. Cette structure triangulaire stable forme la voûte plantaire qui va du talon au métatarse. Le pied est constitué d'un ensemble de muscles à la fois intrinsèques et extrinsèques qui en s'organisant avec le système somesthésique permet de maîtriser l'équilibre et le mouvement.

La structure architecturale du pied joue un rôle dans la solidité et la souplesse du pied. Elle permet d'absorber les diverses contraintes qu'il peut y avoir sur les terrains. En effet, en raison de la structure empilée de l'arrière pied et de la structure aplatie de l'avant pied, on obtient une structure en torsion grâce au couple talo-calcanéen puis au couple naviculo-cuboïde et les métatarsiens.

Par ailleurs, le pied a un rôle dynamique de propulsion, et un rôle de retour veineux du sang, des membres inférieurs vers le cœur lors de chaque appui.

A ce pied, s'est rajouté au fil de l'évolution, la chaussure. Elle sera déclinée de plusieurs manières : pour le confort, l'esthétique mais aussi pour la course à pied avec la création de chaussures de course.

## 1.2.3 Les Chaussures

Les chaussures tiennent une place prépondérante dans l'équipement du coureur. Elles font la liaison entre celui-ci et le sol. En fonction de la chaussure de course utilisée, le coureur adaptera la frappe du pied. La plupart d'entre eux opteront pour une frappe de l'arrière pied (rearfoot strike ou RFS en anglais). Par contre pour les porteurs de chaussures minimalistes c'est la frappe de l'avant pied

(Forefoot strike ou FFS) ou médio-pied (midfoot strike ou MFS) qui sera privilégiée. Il existe des exceptions où l'amorti des chaussures minimalistes donne au coureur la possibilité d'une attaque par le talon et le protège du contact douloureux avec le sol. [8][9][10]

Suivant le type de chaussure, la stratégie de course sera différente. De même que l'activation musculaire des membres inférieurs pourra en être affectée [11]. Par exemple, le poids des chaussures peut avoir une incidence sur la fatigue musculaire au niveau du tibia antérieur mais aussi provoquer une activation musculaire plus intense des muscles semi-tendineux, gastrocnémiens et soléaires lors de la phase de poussée.

Le coureur doit donc choisir des chaussures de course en fonction de sa musculature, de son poids, de ses performances (distance) et du terrain. Il doit bien s'accoutumer à elles avant d'effectuer de longs entraînements afin d'éviter d'éventuelles blessures.

Les marques de sport ont bien compris la nécessité de s'adapter aux différents coureurs. C'est un marché porteur où la stratégie commerciale est primordiale et chaque enseigne offre un grand éventail de chaussures de plus en plus performantes.



Figure 2 : Composition de la chaussure de Course

La chaussure de running est composée de différents éléments : <sup>2</sup>

- La semelle extérieure ou d'usure : c'est la base de la chaussure de course. Elle détermine son adhérence et sa résistance au sol. Elle est plutôt rigide et souvent en caoutchouc.
- La semelle intérieure ou de propreté : elle maintient le pied en place et est composée d'un matériau respirant pour évacuer la transpiration.
- La semelle intermédiaire a des caractéristiques de dynamisme et d'amorti lors de l'impact. Elle permet une relance de la foulée. L'amorti de la chaussure de running est composé de différents matériaux comme le gel, la mousse, le TPU (polyuréthane thermoplastique expansé) et apporte un confort au coureur. L'amorti est en fonction de plusieurs paramètres tels que le sexe, le poids, et l'expérience du coureur.
- La tige, partie qui recouvre le pied, souvent en mesh (fibres synthétiques comme le nylon, polyester) pour faciliter l'aération et la légèreté. Elle est renforcée à l'avant et sur les côtés pour le maintien du pied.
- La coque talon maintient le talon et le pied pendant les foulées.

<sup>2</sup> <https://www.je-va-is-courir.com/running-anatomie-et-composition-d-une-chaussure-de-course-a-pied>

Depuis plusieurs années, la question de retrouver une foulée plus naturelle se pose et l'intérêt pour la chaussure minimaliste se développe ainsi que pour la course pieds nus.

La chaussure minimaliste a été inventé par Robert FLIRI puis développé et présenté au public en 2005 par le fabricant italien VIBRAM. A ce jour la plus populaire des chaussures minimalistes est la VIBRAM Five Finger.



Figure 3 : Photo d'une chaussure minimaliste<sup>3</sup>

Les différents critères de la chaussure minimaliste sont :

- L'épaisseur de la semelle au talon. Elle serait de 5 mm environ, de manière à faire une interface entre le pied et le sol. Mais beaucoup de chaussures sont encore au-dessus de 20 mm afin de protéger le pied des impacts au sol.
- Le DROP (dénivelé entre le talon et l'avant de la chaussure). On trouve des chaussures à DROP 0 ou limité à 4 mm mais la majeure partie des chaussures ont encore un DROP à 10 mm.
- Le poids : les chaussures les plus légères sont de 100g.
- La flexibilité : la chaussure est très flexible ce qui permet au pied de contrôler le mouvement au sol et utiliser ses qualités pour un meilleur rebond.

Il est donc important d'analyser les singularités de cette activité sportive qui est la course à pied et d'en faire apparaître les éléments biomécaniques.

### 1.3 Biomécanique de la Course à pied

« La **biomécanique** se définit comme l'application des lois physiques au mouvement humain. C'est une science qui permet de décrire les éléments structuraux de l'organisme impliqué dans le mouvement et définir l'ensemble des forces qui leurs sont impliqués »<sup>4</sup>

En biomécanique, on discerne deux concepts importants qui sont : la cinématique et la cinétique.

La **cinématique** se caractérise par l'analyse du mouvement du corps dans l'espace (vitesse de mouvement du corps, attaque du pas, amplitude et angulations des articulations lors de la course) <sup>5</sup>

<sup>3</sup> <https://www.conseils-courseapied.com/actu/tribune-libre/3734-chaussures-de-running-minimalistes.html>

<sup>4</sup> <http://www.cdgy91.com/gam/docs/doc/cours/biomeca.pdf>

<sup>5</sup> <https://lacliniqueducoureur.com/>

Lorsque nous pratiquons la **course à pied**, notre corps met en jeu différents muscles et différentes articulations à des moments bien précis afin que nos jambes accomplissent une série de mouvements synchronisés. Le **cycle de course** est une répétition de ces séries de mouvements.

Un seul cycle de course se constitue de deux foulées successives, une foulée gauche puis une foulée droite.

La **foulée** quant à elle se définit par la distance et le temps qui sépare deux pas successifs. Cette foulée va se diviser en deux parties : la phase d'appui et la phase d'envol.

La phase d'appui se découpe en trois temps, l'amortissement, le soutien et la propulsion. La phase d'envol se définit par la phase de suspension.

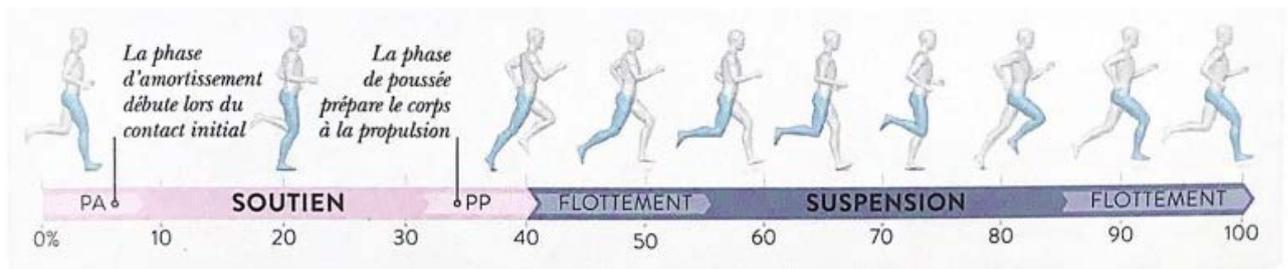


Figure 4 : Kinogramme de la course à pied (**Annexe 1**)

**Phase d'amortissement** : Cette phase va dépendre des coureurs. En effet, la majorité des coureurs ont tendance à attaquer l'appui en posant le talon (**attaque taligrade**).

Nous allons décrire la biomécanique à partir de cette phase.

Cette phase débute par le contact de la partie postéro-latérale du talon et se finit lorsque l'avant pied touche la surface du sol.

Lors de cette étape pour amortir le poids du corps on retrouve :

- Une flexion des articulations de la hanche et du genou
- Une rotation médiale du tibia au niveau du genou
- Une diminution de la flexion dorsale du pied
- Ainsi qu'une pronation du pied au niveau subtalaire, et un déverrouillage du pied.

Tous ces mouvements vont permettre d'absorber les chocs.

D'un point de vue musculaire, le quadriceps et grand fessier travaillent en excentrique, il en va de même pour le tibial antérieur qui va venir reposer le pied au sol et éviter sa chute.

S'ensuit la deuxième phase.

**Phase de soutien** : C'est une étape intermédiaire entre l'amortissement et la propulsion. C'est le moment où la projection verticale du centre de gravité va correspondre à la projection verticale de l'appui au sol, la FRS verticale est à son maximum. Cette phase débute lorsque le pied est en appui total au sol et se termine dès que le talon commence à décoller.

Lors de cette phase on va retrouver :

- Une rotation latérale du tibia
- Une supination du pied en vue de la phase de poussée

- Une oscillation de l'autre jambe qui en phase aérienne croise la jambe d'appui dans le plan sagittal

**Phase de poussée/propulsion** : C'est la dernière phase où le pied est en appui au sol. Elle débute dès que le talon a décollé du sol et se finit dès que les orteils ne touchent plus le sol. On va retrouver un verrouillage du pied et une pronation de l'avant pied. Cette rigidification va favoriser un bras de levier stable pour la propulsion.

Lors de cette phase, deux articulations vont faire une extension :

- Le genou
- La hanche

Cette extension est nécessaire pour augmenter la poussée du corps. La cheville quant à elle va effectuer une flexion plantaire.

D'autres muscles interviennent comme :

- Le quadriceps
- Le grand fessier

Qui vont effectuer une contraction concentrique.

Les ischio-jambiers travaillent :

- En concentrique en proximal au niveau de la hanche
- En excentrique en distal au niveau du genou

À la fin de cette phase, le triceps sural cesse de fonctionner en concentrique et la contraction du tibia antérieur commence pour laisser place à la phase de suspension.

**Phase de suspension** : c'est le moment où le pied n'est plus en contact avec le sol. Cette phase de suspension est réalisée de façon simultanée à la phase d'appui de l'autre jambe. Cependant durant cette phase il existe un court instant où les deux phases de suspension de chaque pied se côtoient. C'est ce qui différencie le cycle de course du cycle de marche où il n'y a pas de phase de double appui.

Lors de cette phase, un ensemble de muscles permet de replier la jambe en CCO (chaîne cinétique ouverte) et forme :

- La chaîne musculaire de flexion composée :
  - Du tibia antérieur (cheville)
  - Des ischio-jambiers (genou)
  - Du psoas (hanche)

Lorsque le pied aura franchi la verticale passant par le bassin, une autre CCO prend le relais :

- La chaîne d'extension composée :
  - Du triceps sural (cheville)
  - Du quadriceps (genou)
  - Du grand fessier (hanche)

Cette chaîne va permettre d'étendre la jambe.

A noter que lors de l'attaque taligrade, le triceps sural n'exerce pas sa composante de flexion plantaire.

Lors de la course à pied il y a 3 phases **d'oscillations** qui sont des éléments parasitant pour celle-ci et qui doivent être réduits au minimum :

- L'Oscillation verticale compensée par une poussée oblique vers l'avant
- L'Oscillation latérale compensée par une réaction des muscles extenseurs de la jambe
- L'Oscillation transversale équilibrée par l'action synchrone des bras

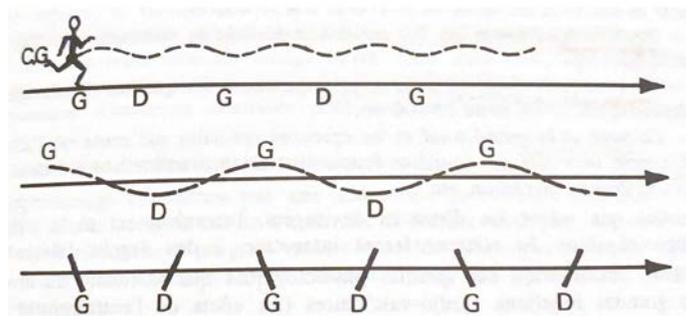


Figure 5 : Les oscillations du Centre de Gravité lors de la course dans les 3 plans de l'espace (**Annexe 2**)

**La cadence** du pas, c'est le nombre de pas effectués sur un temps donné. Elle se situe autour de 180 pas/minute plus ou moins 10 et varie peu quel que soit la vitesse. Cette cadence de 180 pas/min serait la plus efficace et donnerait une foulée plus fluide. Chaque coureur ayant sa propre cadence.<sup>6</sup>

La **largeur de la foulée** est un élément à prendre en compte dans la biomécanique de la course. Cela correspond à l'alignement latéral des pieds lorsqu'ils touchent le sol. Pour une largeur optimale, les talons lors de chaque appui ne doivent pas empiéter sur la ligne médiane du corps. Une variation de la largeur de la foulée sera source de dépense énergétique accrue ainsi qu'un risque majoré de blessures.

Pour obtenir une foulée optimale, il faut se rapprocher de la **posture** théorique. Il faut se tenir droit (s'auto grandir), éviter de trop s'incliner vers l'avant au niveau de la taille, regarder devant soi, avoir des abdominaux qui possèdent une bonne tonicité pour permettre de limiter la rotation des hanches et du torse. Les pieds ne doivent pas être trop loin du centre de gravité lors de la pose du pied. Il faut garder les épaules basses, balancer les bras dans l'axe du corps, garder les coudes fléchis à 90°. Il faut également garder parallèle les ceintures iliaques et scapulaires lors de la course.

La **cinétique** c'est l'analyse des forces agissant sur le corps en mouvement (Force de réaction au sol (FRS), impact au sol, et toutes les contraintes articulaires et musculaires).<sup>7</sup>

Lors de la course, il va être nécessaire au coureur de savoir gérer les **Forces de Réactions au Sol (FRS)** car si celles-ci ne sont pas amorties, le coureur va devoir supporter une onde de choc qui va se propager de ses membres inférieurs à travers toutes les articulations et tissus mous jusqu'à la tête.<sup>8</sup>

« En effet, en assimilant cette FRS au poids du corps, on considère qu'une marche lente va entraîner 100% de FRS tandis qu'en course à pied elles atteignent 200% à 260% voire parfois plus. » (**Annexe 3**)

En effet pour se maintenir bien droit, le coureur doit combattre la gravité et il est donc essentiel à chaque pas de provoquer une poussée horizontale suffisante afin d'être impulsé vers l'avant (**Annexe 4**). Suivant l'intensité de cette force, un **Pic d'Impact ou Pic passif de réception ou Pic d'Impact Passif (PIP)** se produit et ce 25 à 50 millisecondes après le contact initial. Celui-ci serait amorti par une attaque avant pied ou digitigrade ce qui permettrait à l'onde de choc d'être moins traumatisante pour la structure musculosquelettique.[6]

<sup>6</sup> <https://lacliniqueducoureur.com/coureurs/blogue/archives/cadence/>

<sup>7</sup> <https://lacliniqueducoureur.com/>

<sup>8</sup> [https://www.wmaker.net/kinesport/la-course-a-pied-prise-d-appui-et-considerations-biomecanique-Vers-le-body-mechanic\\_a2454\\_3.html](https://www.wmaker.net/kinesport/la-course-a-pied-prise-d-appui-et-considerations-biomecanique-Vers-le-body-mechanic_a2454_3.html)

Plus l'impact au sol est important, plus les FRS sont élevées, elles peuvent aboutir jusqu'à trois fois le poids du corps. [6]

Dans le cas de l'attaque taligrade, essentiellement, la FRS est dirigée vers l'arrière et elle est même frénatrice. Tandis qu'avec une attaque avant les FRS sont neutres voir dirigées vers l'avant. Dans ce cas elles sont accélératrices. Cette force va être emmagasinée par le corps à travers les articulations et les muscles puis restituée dans la foulée suivante.

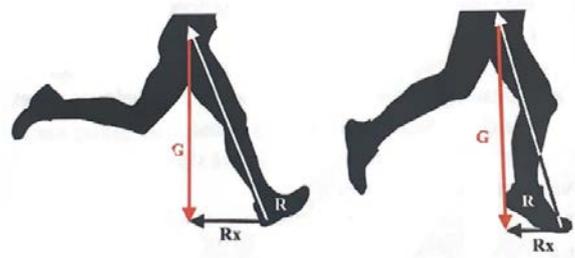


Figure 6 : Schéma des FRS taligrade (gauche) et digitigrade (droite) **(Annexe 5)**

Concernant les variables des FRS, on a aussi le **taux de chargement vertical** qui témoigne de la vitesse entre la frappe du pied au sol et le Pic d'Impact vertical. Plus le taux de charge est élevé, plus des blessures peuvent en découler comme des fractures de stress.

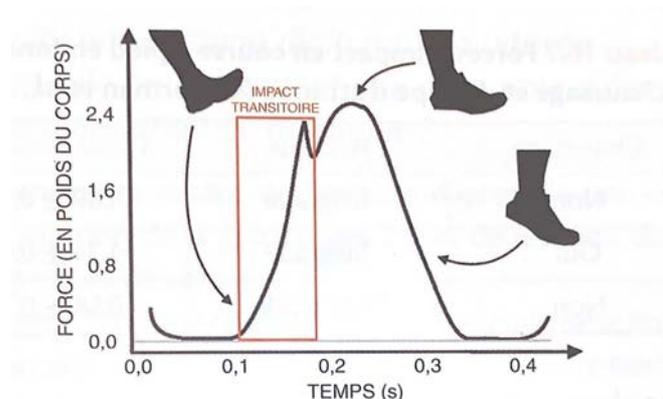


Figure 7 : Schéma des FRS appliqués lors de l'appui taligrade **(Annexe 5)**

Chaque individu est unique et sa manière de courir aussi. Il existe différentes façons de courir et cela commence par l'attaque du pied lors de la foulée.

## 1.4 Les attaques du Pas

On trouve l'attaque taligrade dont on a parlé précédemment à laquelle vient s'ajouter deux autres attaques :

**L'attaque digitigrade (avant pied) :** Il y aura lors de cet appui une diminution de l'impact transitoire grâce à plusieurs paramètres.

Notamment au point de vue articulaire grâce à deux articulations :

- L'articulation transverse du tarse ou articulation de Chopart
- L'articulation tarso-métatarsienne

Ces deux articulations vont grâce à leur structure architecturale et ligamentaire permettre au pied d'obtenir des capacités d'absorption des chocs et d'adaptation au terrain.

Mais aussi d'un point de vue aponévrotique l'attaque digitigrade va faire intervenir la lame fibreuse qui s'insère du calcaneus jusqu'à la base des orteils, et possède une légère élasticité. Elle va permettre de répartir les pressions sur le pied, jouer le rôle d'un amortisseur et participer au maintien de l'arche longitudinale du pied.

Ainsi que d'un point de vue musculaire.

Le triceps, le quadriceps, les grands fessiers vont amortir et diminuer les contraintes lors de la course. Grâce à un travail excentrique de ces trois groupes musculaires, une réaction de type « ressort » se met en place. Cet amortissement musculaire permet d'absorber l'impact transitoire et diminue l'onde de choc transmise sur le reste du corps.

Lors de l'attaque digitigrade le TS va emmagasiner davantage d'énergie car ce dernier va se retrouver en course interne ainsi la propulsion sera améliorée.

**L'attaque médio pied :**

Les caractéristiques de la biomécanique de cette pose sont similaires à celle de l'attaque par l'avant-pied.

Attaque Taligrade (Talon)	Attaque Médio Pied	Attaque Digitigrade (Avant pied)
<p>« 75% des coureurs d'élite » [12]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Phase qui débute par le contact de la partie postéro-latérale du talon et se termine lorsque l'avant pied touche le sol</li> <li>- Dorsiflexion de la cheville plus élevée (orteils relevés vers le tibia)</li> <li>- Taux de charge vertical plus élevé</li> <li>- Impact transitoire élevé</li> <li>- Genou soumis à des forces élevées</li> <li>- FRS passe derrière la cheville. Réduction de la charge sur le tendon d'Achille mais augmentation sur le muscle tibial antérieur</li> <li>- Moins de contraintes sur les muscles : pied/cheville/mollet</li> </ul>	<p>« 23% des coureurs d'élite » [12]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Phase qui correspond à un compromis entre attaque taligrade/attaque digitigrade. La pose du pied s'effectue sur une surface plus étendue de la plante du pied, voire même sa totalité</li> </ul>	<p>« 1 à 2% des coureurs d'élite » [12]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Phase qui correspond à une attaque avant pied. Le premier contact au sol de chaque foulée se fait dans la zone tarso métatarsienne</li> <li>- Cheville en flexion plantaire (orteils pointés vers le bas)</li> <li>- Ce type d'attaque diminuerait le taux de charge</li> <li>- Impact transitoire diminué</li> <li>- Genou soumis à des forces plus faibles</li> <li>- FRS passe devant la cheville. Accroîtrait la charge sur le tendon d'Achille et le mollet et limiterait celle du tibial antérieur</li> <li>- Plus de contraintes sur les muscles : pied/cheville/mollet</li> </ul>

Tableau 1 : Les différentes spécificités des attaques du Pas :

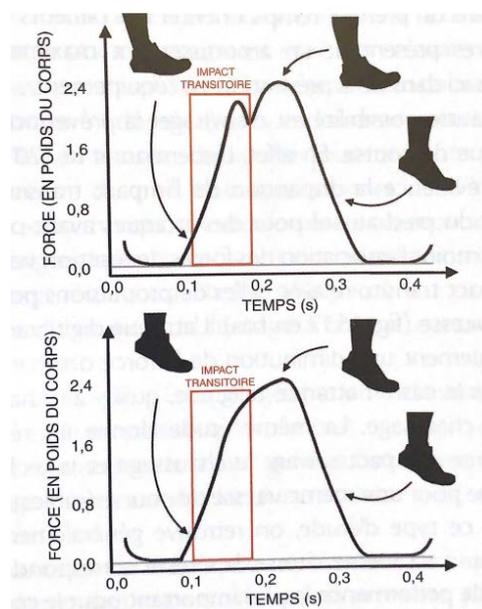


Figure 8 : Schéma des FRS appliqués lors de l'appui médio pied puis digitigrade (Annexe 5)

Les parties biomécaniques de la course à pied et les attaques du pas se retrouvent dans les **Annexes 1, 2, 3, 4 et 5.**

Les pathologies touchant les membres inférieurs sont nombreuses que ce soit dans la population en général mais aussi chez les sportifs.

## 1.5 Les blessures liées à la course

### 1.5.1 Définitions

D'après le Comité International Olympique 2020 (CIO) la blessure se définit comme « une lésion tissulaire ou un autre dérèglement des fonctions physiques normales dû à la pratique d'un sport résultant d'un transfert rapide ou répétitif d'énergie cinétique » [13]

Même si la CAP a énormément de côté positif pour la santé, elle comporte également des risques de blessures. Généralement les blessures sont liées à une sur sollicitation des membres plutôt qu'un traumatisme (environ 70 à 80%). [14]

Chaque année, il y a en moyenne 50% des coureurs qui souffrent d'une blessure qui ne leur permettra pas de courir pendant un certain laps de temps et 25% se blesseront à un moment donné. Hormis l'arrêt de la CAP cela pourra induire aussi dans certain cas un arrêt du travail et un coût pour les soins [15]. La plupart des blessures de course touchent les membres inférieurs notamment le genou (28%), la cheville et le pied (26%) et la jambe (16%). Les blessures les plus représentatives sont : le syndrome fémoro patellaire (17%), la tendinopathie d'Achille (10%), la périostite tibiale (8%) puis les fasciites plantaires. [16] On retrouve aussi des fractures de fatigue au niveau du pied ou du tibia (microfissures dans les os dues à un surentraînement), des entorses au niveau de la cheville ou du genou, des lésions du ménisque et des ischio-jambiers. Autant de pathologies auxquelles les masseurs kinésithérapeutes et autres rééducateurs doivent faire face.

### 1.5.2 Le syndrome fémoro-patellaire

C'est l'une des causes les plus fréquentes de douleur antérieure du genou. Elle est souvent accentuée lorsque le genou est fléchi notamment lorsqu'on court, en montant les escaliers, en se mettant accroupi ou en restant trop longtemps assis. Les personnes concernées sont souvent les sportifs qui pratiquent une activité intense : course à pied, marathon, trail.

Le syndrome fémoro-patellaire est dû à :

- un mauvais alignement du membre inférieur et/ou de la patella
- un déséquilibre musculaire
- une surcharge ou sur activité
- un traumatisme

Parmi ces différents éléments, souvent la surutilisation semble être un facteur dominant (comme le nombre de kilomètres parcourus en course à pied par exemple), les patients expriment que la douleur a débuté à la suite d'une activité intense.

Le diagnostic se fait de façon clinique et les radios ne sont pas utiles mais elles peuvent aider à exclure d'autres diagnostics comme : arthrose, ostéochondrite, fracture rotulienne.[17][18]

Les 2/3 des patients peuvent être soignés grâce à un protocole de réadaptation adapté. Pendant la phase aiguë : repos complet ou partiel. Si on continue l'activité sportive, elle doit être effectuée sous le seuil de la douleur. On peut prendre des AINS et mettre de la glace. Pendant la phase de récupération, un programme de rééducation devra être effectué avec des exercices qui permettront de renforcer les muscles fléchisseurs de la hanche, du tronc et du genou. Un travail à domicile avec des exercices quotidiens devra être envisagé. La thérapie non opératoire sera poursuivie pendant au moins 24 mois avant d'en venir à une opération.

### 1.5.3 Tendinite d'Achille

C'est une pathologie dégénérative due à une altération structurelle du talon d'Achille causant des douleurs le long de la partie la plus étroite du tendon (qui peut alors s'épaissir) ou au niveau de la jonction du tendon et du calcaneum. Cette tendinite d'Achille est souvent due à une augmentation brusque de la charge d'entraînement. Mais elle peut être aussi causée par des facteurs biomécaniques propres au coureur, un changement de chaussures, une surface plus dure que d'habitude.

Le traitement de départ comprend d'abord l'allègement de la charge d'entraînement, la prise d'AINS en cas de douleur, l'adaptation des chaussures (avec cales et orthèses). Mais aussi un programme d'étirements du mollet et de renforcement du tendon d'Achille. Des ondes de choc extracorporelles peuvent être proposées. Lorsque la tendinite est diagnostiquée assez tôt, elle peut disparaître entre 5 et 10 jours. Par contre si après 6 mois de traitement elle est toujours présente un traitement opératoire sera préconisé (débridement à ciel ouvert).[19][20]

### 1.5.4 Périostite tibiale

C'est l'une des blessures les plus fréquentes chez les coureurs et notamment chez les coureurs débutants. Elle se traduit par une douleur du bord postéro-médial du tibia lors de l'effort impliquant l'appui de la jambe. La partie lésée s'étend au moins sur 5 cm et est douloureuse à la palpation. Les causes courantes de cette pathologie sont dues à un accroissement des forces d'impact sur des surfaces dures, à un entraînement intensif mais aussi à des facteurs biomécaniques comme entre autres la pronation, une abduction excessive du pied et une foulée étroite. Le traitement consiste en un allègement temporaire de la charge d'entraînement, un travail sur la foulée en cas de risques biomécaniques, des exercices de renforcement du soléaire et du tibial postérieur mais aussi des semelles intérieures absorbant les chocs. [21]

### 1.5.5 L'aponévrosite plantaire ou Fasciite plantaire

Elle correspond à une inflammation du fascia plantaire qui soutient la voûte plantaire et s'étire lors de la phase d'amortissement. C'est une pathologie invalidante. La douleur se fait ressentir lorsque le poids du corps prend appui sur le talon. Elle se situe généralement sur l'avant du calcaneum. Les causes courantes sont généralement : un entraînement excessif (distance, fréquence, intensité), une surface de course dure, des chaussures neuves ou inappropriées, une pronation excessive du pied ou la station debout prolongée. La douleur est souvent perçue le matin au lever ou à la palpation de la région calcanéenne. Le traitement initial comprend d'abord du repos, un allègement temporaire de l'entraînement, l'utilisation de la glace, la prise d'AINS. Mais également un programme d'étirement du

mollet et de renforcement du fascia plantaire et des muscles du pied. Si la douleur persiste, des orthèses plantaires et des attelles nocturnes peuvent être préconisées ainsi que des injections de corticostéroïdes. [22][23]

#### 1.5.6 Bandelette Ilio-tibiale

La pathologie se retrouve surtout chez les coureurs de fond (marathoniens, joggeurs) et se traduit par une inflammation à la face latérale du genou. La bandelette ilio-tibiale correspond à une longue bande de tissu fibreux qui débute au niveau du muscle tenseur du fascia lata et se termine au niveau du tibia sur le tubercule infra condyloire. Avant d'arriver au niveau du tibia, elle passe par-dessus le condyle latéral du fémur et lors de la flexion/extension du genou, un frottement se fait et génère une irritation de la bande ilio-tibiale.

Pour traiter cette pathologie, un repos complet s'impose pendant 2 à 3 semaines avec glaçage de la face externe du genou et AINS si besoin. Il pourra y avoir une prise en charge kiné avec massages transversaux profonds, ondes de choc, physiothérapie et étirements du fascia-lata. Des injections locales de corticostéroïdes pourront être réalisées sous échographie.

En cas d'échec du traitement, une prise en charge chirurgicale pourra être envisagée (section partielle du fascia-lata en regard du condyle latéral fémoral). Cette opération reste exceptionnelle.[24][25]

### 1.6 Les Facteurs de risques

Les causes des blessures liées à la CAP sont multifactorielles. Elles englobent autant de facteurs intrinsèques tels que : Le sexe, le poids, l'âge, une blessure antérieure, des anomalies biomécaniques, une fragilité tissulaire que des facteurs extrinsèques comme les chaussures, le surentrainement, les surfaces.[26]

On peut donc dissocier ses facteurs de risques en 3 parties :

Les facteurs biomécaniques. C'est-à-dire la technique de CAP. Cela peut entraîner plusieurs pathologies qui pourraient être dû notamment à des taux de charge verticaux élevés.[27]

Ou d'autres facteurs biomécaniques comme la frappe de l'arrière pied peut engendrer des pathologies musculaires au niveau de la loge antérieure.

Les facteurs anatomiques. Cela comprend les prédispositions anatomiques comme les pieds plats, creux, l'inégalité des membres inférieurs. Cependant cela reste une idée reçue sans fondement scientifique.

Les erreurs d'entraînements. En effet courir va soumettre le corps à des micro traumatismes dont les tissus mettent plusieurs jours à s'en remettre. Ainsi le surentrainement ne laisse pas le temps au corps de récupérer et augmente le risque de blessure.

### 1.7 Prévention des Blessures

La prévention des blessures est primordiale dans la CAP car le taux d'incidence annuel varie de 19,4% à 79,3%. [28] Même si des preuves solides ne permettent pas vraiment la prévention, des recommandations pour exercer la CAP sont indispensables :

- La nécessité de s'entraîner de manière progressive. Le surentraînement est néfaste et à proscrire. On doit savoir écouter son corps et agir en conséquence. Si on est fatigué, on réévalue son entraînement.

- On favorise une période d'échauffement avant la course, une période de récupération en fin de course et une série d'étirements.

- On utilise des chaussures adaptées à son anatomie. On tient compte de son poids, de sa musculature, du terrain sur lequel on court.

- On adopte une alimentation équilibrée et un bon sommeil.

Pour les orthèses, les preuves sont minimales en ce qui concerne leur impact sur la réduction du risque de fractures de fatigue.

## 1.8 Questionnement

Depuis toujours je pratique la course à pied de manière ludique, afin d'échapper au quotidien, profiter du paysage et m'entretenir physiquement. Il m'arrive d'exercer la CAP de manière compétitive lors de rencontres sportives.

Récemment j'ai souhaité modifier mes entraînements en augmentant progressivement mon temps d'exercice ainsi que la distance parcourue afin de réaliser un marathon.

Ayant des difficultés à maintenir le rythme, je me suis questionné sur mon schéma de course. Peut-être que ma manière de courir n'est pas optimale donc je me fatigue plus vite et risque d'augmenter mes chances de me blesser.

Alors, je suis allé me renseigner auprès des kinésithérapeutes et dans la littérature ainsi qu'à travers des livres sur le schéma de course optimal et les divers moyens pour prévenir les blessures de ce sport. Lors de ma lecture je me suis particulièrement intéressé à la course à pied sans chaussure.

- Quelles différences peut apporter cette méthode de CAP ?
- Peut-elle diminuer les pathologies, améliorer le schéma de course et les performances des coureurs ?

D'après les différentes revues littéraires, on constate « un manque de preuve » et « un besoin d'études complémentaires ».

L'idée m'est venue d'une revue littéraire sur le sujet.

Cela me donnera la possibilité d'être plus pertinent lors des interrogations des patients rencontrés dans mon futur exercice professionnel.

La connaissance des risques et blessures de la CAP pieds nus et la biomécanique de la CAP sont des critères permettant au kinésithérapeute d'établir un plan d'action thérapeutique approprié. Car notre métier est de rééduquer mais également de faire de la prévention pour nos patients. C'est pour cette raison que j'ai orienté mon mémoire sur les différences biomécaniques de la course à pied, pieds nus ainsi que sur la prévention des blessures de ce mode de course.

## 2 Problématique

Suite au cadre contextuel, nous avons mis en avant plusieurs points essentiels. La course à pied présente de nombreux avantages mais aussi des aspects négatifs source de blessures.

Les études menées dans la littérature démontrent les différences biomécaniques entre la course chaussée et pieds nus. Cependant très peu d'études et revues littéraires attestent et recommandent la pratique de la course à pied, pieds nus. Ainsi étudier les différents essais cliniques permettrait de connaître la pertinence de la course à pied, non chaussée et pourrait aider les kinésithérapeutes à mettre en place une rééducation adaptée chez le coureur et prévenir de potentielles blessures.

### Enlever les chaussures peut-il modifier les contraintes biomécaniques chez les coureurs ?

<b>P</b> opulation	Tous niveaux de coureur (novices, occasionnels, réguliers, athlètes) et tous types de courses (longue distance, courte distance, cross, route)
<b>I</b> ntervention	La course à pied non chaussée
<b>C</b> omparateur	La course en chaussure traditionnelle
<b>O</b> utcomes	La biomécanique de la course

Tableau 2 : Méthode PICO

#### But :

Cette revue cherche à travers la littérature scientifique à analyser la biomécanique de la course et les différentes contraintes mécaniques exercées sur le corps en comparant la course à pied chaussée et pieds nus. Cela va permettre d'évaluer l'intérêt d'un modèle de course vis-à-vis de l'autre (objectif primaire) et dans un second temps, identifier si une course permettrait de diminuer les blessures et les douleurs chez les coureurs. (Objectif secondaire)

En fonction des résultats obtenus, la méthode évaluée permettra de prévenir et d'utiliser un programme thérapeutique adapté au coureur.

## 2.1 Hypothèse théorique

A travers les informations recueillies sur la littérature scientifique, on peut s'attendre à plusieurs hypothèses :

- Une modification de la frappe du pied, ainsi que du reste du corps du fait de l'absence de semelle (augmentation des amplitudes articulaires de la hanche et du genou).
- Ainsi qu'un changement spatio-temporel de la course (diminution temps de contact au sol, de la longueur de la foulée et augmentation de la cadence).
- Une diminution des contraintes et pressions articulaires ainsi que de l'impact transitoire, diminution des taux de charges, et des FRS sur l'ensemble musculosquelettique.
  
- Une transition brutale de la course à pied chaussée à pieds nus qui sera source de blessures et de douleurs.
- Des douleurs et blessures identifiées à des localisations différentes de celles retrouvées habituellement.
- Une augmentation des blessures au niveau du pied et de la cheville due à une modification articulaire et biomécanique.
- Un manque de recul et de preuves pertinentes qui permettent de recommander de courir pieds nus.

## 3 Méthode

### 3.1 Définition

La Méthodologie utilisée sera une revue littéraire qui a pour but de présenter et d'évaluer la documentation par rapport au sujet choisi en tenant compte des recherches antérieures et également de l'information existante.

Pour répondre à la problématique il est nécessaire de rassembler les articles, les analyser et les synthétiser.

La finalité va être donc d'actualiser les données de la littérature scientifique.

La définition détaillée et concise des diverses étapes de la revue littéraire va être synthétisée sur un diagramme de flux.

Le but de cette grille est de rendre plus aisé le développement et la rédaction du process de la revue littéraire.

Mes recherches se sont faites du mois de septembre 2022 jusqu'au mois de février 2023.

Elles se sont limitées à une antériorité de 10 ans afin de maintenir une actualité des preuves.

D'autant plus que la recherche sur ce sujet s'avère complexe car jusqu'à ce jour peu d'études ont été menées.

Malgré une vulgarisation de la CAP pieds nus dans un milieu d'initiés, les études sont encore restreintes. Seules les études en anglais ou en français ont été choisies, pour une meilleure compréhension des articles.

### 3.2 Critère d'éligibilité

#### 3.2.1 Types d'études

- Seuls les articles traitant de l'influence de la CAP pieds nus sur la biomécanique de la course seront retenus.
- Ils seront obligatoirement complets.
- Avec un degré de preuves scientifiques pertinent si possible.
- Pour cette étude, des essais contrôlés non randomisés/randomisés, des études de cohorte, des études cas-témoins et des études transversales seront retenus.
- A contrario dans le cadre de cette étude ne seront pas pris en compte : la littérature grise, les études de cas, les revues systématiques de la littérature et méta-analyses.
- La littérature quantitative sera incluse, par conséquent les synthèses de recherches qualitatives dans la partie résultat des études seront mises de côté.
- De plus seules les études obtenant un score PEDro supérieur ou égal à 5 intégreront ma revue.

#### 3.2.2 Population

L'échantillon de personnes retenu concerne tous types de coureurs que ce soit novices, occasionnels, récréatifs, athlètes et qui pratique la CAP autant en courte que longue distance et sur des surfaces différentes.

Les études sélectionnées doivent répertorier tous les critères (âges, sexe, poids, taille...) des participants inclus dans l'étude et cela de manière complète. Ce qui permettra, lors de l'analyse de les confronter et de déceler les potentielles variables de confusions.

Les intervenants des études expérimentales seront composés uniquement de coureurs sains au moment de l'étude.

### 3.2.3 Intervention

L'intervention a pour objectif de comparer la CAP chaussée et non chaussée.

Les études seront rétrospectives ou prospectives, il doit y avoir dans les études sélectionnées les critères de jugement bien défini afin de pouvoir témoigner s'il y a un réel changement significatif de la biomécanique de course.

Ne seront sélectionnés :

- Que les articles traitant de la course à pied, sur surfaces dures, tapis de course, et pistes de course synthétiques.

Ne seront pas sélectionnés :

- Les articles comparant la chaussure minimaliste et la course pieds nus.

### 3.2.4 Critères de Jugements

Le critère de Jugement retenu est :

- Les modifications biomécaniques de la CAP (Cinématique et Cinétique)

## 3.3 Méthodologie de recherche des études

### 3.3.1 Sources documentaires investiguées

Ma recherche documentaire sur des études éligibles, s'est effectuée essentiellement sur support numérique : Pubmed, Pedro, Kinedoc et Cochrane (Bases de données médicales)

Mais je me suis également appuyé sur des revues littéraires et autres documents pour rédiger l'introduction et appréhender la biomécanique de course.

### 3.3.2 Equation de recherche

- Mon équation de recherche a été élaborée en fonction de la terminologie utilisée dans les bases de données.
- Mes recherches se sont focalisées sur plusieurs thèmes : La course à pied chaussée, la course pieds nus et mon critère de jugement.
- Au début mes recherches ont été effectuées à travers des termes larges tel que « running » ou « barefoot » ou « prevention » ou « injuries » ou « biomechanical » ou « Ground Reaction Force » pour évaluer à travers les articles proposés quelle terminologie revenait le plus souvent. J'ai complété mes premières recherches par des synonymes afin de faire ressortir le plus grand nombre d'articles.
- Je me suis appuyé de mon PICO pour déterminer les mots Clés.
- Les termes d'une même catégorie ont été reliés avec le connecteur « OR »
- Les différents termes de mon PICO seront associés entre eux ainsi on obtiendra P AND I AND C AND O.

- Ainsi pour la **Population** j'ai rassemblé le terme de coureur et de course à pied ensemble on obtient :

(((((Runner) OR (jogger)) OR (athlet)) OR (Running)) OR (jogging)) OR (Race)) OR (Run))

- **L'intervention :**

(barefoot) OR (Foot) OR (Feet) OR (Barefeet)

- **Le comparateur :**

(((((Footwear) OR (shod)) OR (shoe)) OR (footgear)) OR (running shoes))

- **L'Outcome :**

((((((((Biomechanical)) OR (biomechanic)) OR (bio-mechanical)) OR (contraint)) OR (pressure)) OR (joint pressure)) OR (articulation)) OR (ground reaction force)) OR (vertical impact peak))

L'équation de recherche utilisée sur Cochrane sera identique de celle de PubMed.

<b>PubMed</b>	((((((((runner) OR (jogger)) OR (athlet)) OR (running)) OR (jogging)) OR (race)) OR (run)) AND (((barefoot) OR (foot)) OR (feet)) OR (barefeet))) AND (((footwear) OR (shod)) OR (shoe)) OR (footgear)) OR (running shoes))) AND (((((((biomechanical) OR (biomechanic)) OR (bio-mechanical)) OR (contraint)) OR (pressure)) OR (joint pressure)) OR (articulation)) OR (ground reaction force)) OR (vertical impact peak))
<b>Cochrane</b>	((((((((runner) OR (jogger)) OR (athlet)) OR (running)) OR (jogging)) OR (race)) OR (run)) AND (((barefoot) OR (foot)) OR (feet)) OR (barefeet))) AND (((footwear) OR (shod)) OR (shoe)) OR (footgear)) OR (running shoes))) AND (((((((biomechanical) OR (biomechanic)) OR (bio-mechanical)) OR (contraint)) OR (pressure)) OR (joint pressure)) OR (articulation)) OR (ground reaction force)) OR (vertical impact peak))
<b>Pedro</b>	Running barefoot

Tableau 3 : Equations de recherche

### 3.4 Sélection des études

L'ensemble des articles sélectionnés a été reporté sur Mendeley Desktop qui permet de recueillir les références bibliographiques. De plus ce logiciel supprime les doublons.

Mes résultats sont donc passés de 979 à 903 après suppression.

Ensuite ma sélection s'est faite par le titre des articles, puis les résumés et enfin par le texte intégral.

Cette procédure a été réalisée en suivant mes critères d'inclusions et d'exclusions. Ainsi tous les articles traitant de tout autres sports ou toutes autres évaluations n'abordant pas la biomécanique et le port de différents types de chaussures/orthèses n'ont pas été pris en compte.

Après lecture des titres, le nombre des articles retenus étaient de 56. Une recherche approfondie à l'aide des références bibliographique des articles a été effectuée manuellement afin d'obtenir de nouvelles études susceptibles de correspondre à ma problématique.

Les articles potentiellement intéressants pour ma revue se sont réduits à 14 après lecture de tous les résumés. De ces 14 articles une revue systématique de la littérature n'a pas été retenue pour l'extraction des données mais sera réabordée et analysée dans la partie discussion du mémoire. La totalité des 13 articles a été étudié afin d'évaluer quelles études seraient susceptibles de répondre aux critères d'inclusions vu en amont. Les articles choisis sont ceux dont les résultats étaient les plus appropriés (données exploitables), pertinents, précis et de bonnes qualités métrologiques.

Ainsi tous les ECR dont le score était inférieur à 5 dans l'échelle d'évaluation PEDro ont été éliminés. Il en a été de même pour les deux études de Cohortes et l'étude Transversale en raison de leur faible score (< 5) lors de l'évaluation avec leur échelle respective : Newcastle Ottawa Scale (NOS).

### 3.5 Extraction des données

L'extraction des données des différents articles a été faite à l'aide de tableaux dans le but d'avoir une vision d'ensemble et ainsi de pouvoir associer les différents articles entre eux. Grâce à ces tableaux nous allons pouvoir faire apparaître les similitudes et les différences des articles.

Nous allons retrouver dans ces tableaux les éléments cités ci-dessous :

- Les références bibliographiques
- Types d'études
- Description de la population
- Les groupes comparés : Pieds nus/Chaussés
- Description de l'intervention
- Résultats concernant la biomécanique de la CAP.
- Les scores PEDro

### 3.6 Evaluation de la qualité des articles

La qualité méthodologique des Essais Contrôlés randomisés (ECR) et non randomisés a été calculée au moyen de l'échelle PEDro (**Annexe 6**). Onze items composent cette échelle. Le premier critère se rapporte à la validité « externe » de l'essai mais n'est pas pris en compte pour le calcul du score PEDro. Par contre les autres items (de 2 à 9) concernent la validité « interne » de l'étude et peuvent faire ressortir d'éventuels biais. Les deux derniers critères (10 et 11) permettent de donner des informations statistiques afin d'interpréter au mieux les résultats. Les études ayant un score supérieur ou égal à 5 ont été jugées de qualité suffisante.

Celles qui avaient un score inférieur n'ont pas été retenues car susceptibles d'avoir des risques de biais élevé. (**Tableau 5 : Grille PEDro**)

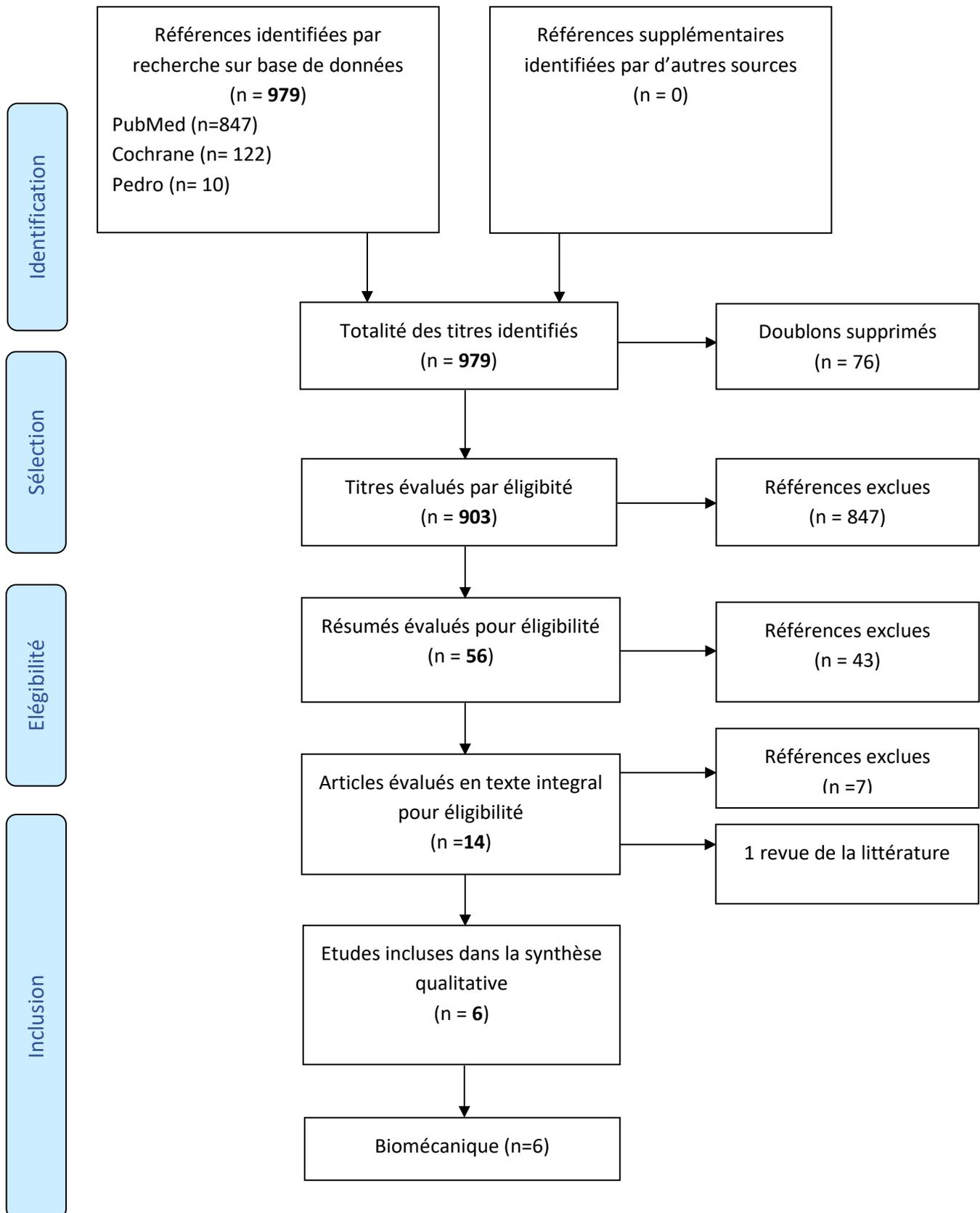
La qualité méthodologique des études de Cohorte et de l'étude Transversale a été évaluée par l'échelle Newcastle Ottawa Scale (NOS) (**Annexe 7**). Cette échelle comprend 9 items regroupés en 3 catégories :

- Sélection d'article
- Comparabilité
- Critère de jugement

Seul les articles au score supérieur ou égal à 5 seront estimés de qualité suffisante. Par conséquent aucune des études sélectionnées n'ont été retenues en raison d'un score inférieur.

## 4 Résultats

### 4.1 Diagramme de Flux



Sur les 979 articles identifiés, 13 sont susceptibles de répondre à ma problématique. Parmi ces 13 articles, 7 sont des essais contrôlés randomisés (ECR), 3 des essais contrôlés non randomisés, 2 études de cohorte prospective et une étude transversale.

Pour sélectionner des études à la méthodologie convenable, les différents articles ont été évalués avec l'échelle PEDro. Sur les 10 essais contrôlés avec cette échelle, 6 affichent un score de qualité suffisante pour être inclus à la revue. (**Tableau 5 et Annexe 8**). Il faut toutefois garder à l'esprit qu'un score final élevé ne reflète pas pour autant la pertinence des études ou l'importance de l'effet thérapeutique.

Concernant les études de Cohorte et l'étude Transversale, l'évaluation s'est faite avec l'échelle NOS. Aucune des études n'a été conservée en raison des scores obtenus, inférieurs à 5. (**Annexe 9**)

Références	Méthode	Effectif	Groupes	Suivi
Acute responses to barefoot 5 km treadmill running involve changes in landing kinematics and delayed onset muscle soreness. <b>Da Silva, Camila C et al. 2020</b> [29]	ECR	13	- Pieds nus - Chaussé	<b>2 essais de 5km à 2 semaines d'intervalles</b>
Adaptation of Running Biomechanics to Repeated Barefoot Running : A Randomized Controlled Study. <b>Hollander, Karsten et al. 2019</b> [30]	ECR	60	- Pieds nus - Chaussé - Contrôle	<b>8 semaines</b>
Loading rate increases during barefoot running in habitually shod runners: Individual responses to an unfamiliar condition. <b>Tam, Nicholas et al. 2016</b> [31]	ECR	51	- Pieds nus - Chaussé	<b>12 essais</b>
Impact Accelerations of Barefoot and Shod Running. <b>Thompson, M et al. 2016</b> [32]	ECNR	10	- Pieds nus - Chaussé - Pieds nus attaque talon	<b>3x 30 minutes</b>
Take your shoes off to reduce patellofemoral joint stress during running. <b>Bonacci, Jason et al. 2014</b> [33]	ECR	22	- Pieds nus - Chaussé	<b>20 essais</b>
Acute differences in foot strike and spatiotemporal variables for shod, barefoot or minimalist male runners. <b>McCallion, Ciara et al. 2014</b> [34]	ECR	14	- Pieds nus - Chaussé - Chaussure minimaliste	<b>6 essais de 4 minutes</b>

Tableau 4 : Présentation des études sélectionnées

## 4.2 Résultats de l'évaluation de la qualité des articles

Suite à l'utilisation de la Grille PEDro, nous constatons que l'attribution dans les groupes s'est faite de manière aléatoire et relativement similaire sauf pour **Thompson, M et al. 2016**. Seule l'étude de **McCallion, Ciara et al. 2014** a respecté une assignation secrète. La mise en aveugle des différents intervenants et thérapeutes dans les études de kinésithérapie n'est pas souvent envisageable. Car l'assignation d'une paire de chaussure ou non n'est pas possible en aveugle. Cela risque de provoquer un biais au moment de la sélection ainsi que du suivi ou également du recueil de données. Seule l'étude de **Hollander, Karsten et al. 2019** a mentionné des examinateurs en aveugle.

Pour toutes les études, les données ont été collectées pour plus de 85% des participants. De plus, les intervenants n'ayant pas pu terminer l'étude n'ont pas été pris en compte dans les résultats.

Nous constatons que les données statistiques sont suffisantes pour l'interprétation des résultats sauf en ce qui concerne deux études **McCallion, Ciara et al. 2014 ; Tam, Nicholas et al. 2016**.

	Hollander, Karsten et al. (2019)	Da Silva, Camila C et al. 2020	Bonacci, Jason et al. 2014	McCallion, Ciara et al. 2014	Tam, Nicholas et al. 2016	Thompson, M et al. 2016
Les critères d'éligibilité ont été précisés.	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Les sujets ont été répartis aléatoirement dans les groupes.	✓	✓	✓	✓	✓	✗
La répartition a respecté une assignation secrète.	✗	✗	✗	✓	✗	✗
Les groupes étaient similaires au début de l'étude au regard des indicateurs pronostiques les plus importants.	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Tous les sujets étaient "en aveugle".	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Tous les thérapeutes ayant administré le traitement étaient "en aveugle".	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Tous les examinateurs étaient "en aveugle" pour au moins un des critères de jugement essentiels.	✓	✗	✗	✗	✗	✗
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.	✓	✓	✓	✓	✓	✓
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".	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Les résultats des comparaisons statistiques intergroupes sont indiqués pour au moins un des critères de jugement essentiels.	✓	✓	✓	✓	✓	✓
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.	✓	✓	✓	✗	✗	✓
<b>Total :</b>	<b>7/10</b>	<b>6/10</b>	<b>6/10</b>	<b>6/10</b>	<b>5/10</b>	<b>5/10</b>

Tableau 5 : Grille PEDro pour les Essais Contrôlés Randomisés

### 4.3 Description des articles retenus

Tous les articles sont parus entre 2014 et 2020 dans plusieurs pays comme le Brésil, l'Allemagne, l'Afrique du Sud, les Etats-Unis, l'Australie et l'Irlande. Différentes ethnies ont été incluses dans cette revue de littérature.

Toutes les études sont réalisées dans un centre Universitaire ou en Laboratoire de recherche en médecine du sport.

La totalité des articles est écrit en anglais. Les tableaux d'extraction des articles sont proposés en annexe. **(Annexe 10)**

#### 4.3.1 Description des objectifs

Toutes les études retenues ont comme finalité commune de s'intéresser à la différence biomécanique entre la course chaussée traditionnelle et la course pieds nus.

L'étude de **Da Silva, Camila C et al. 2020** cherche à déterminer les réponses biomécaniques aigues de la course pieds nus et ses répercussions sur le développement des douleurs musculaires d'apparition retardée.

L'étude de **Hollander, Karsten et al 2019** a pour objectif d'analyser l'accoutumance à la course pieds nus par rapport à la course chaussée sur la biomécanique.

L'étude de **Tam, Nicholas et al. 2016** vise à examiner l'exposition de la course pieds nus sur les taux de chargement initiaux et la biomécanique des articulations des membres inférieurs chez les coureurs habituellement chaussés.

L'étude de **Thompson, M et al. 2016** souhaite évaluer de manière indépendante les effets de la course pieds nus et chaussée sur la cinématique, la cinétique et sur l'impact d'accélération

L'étude de **Bonacci, Jason et al. 2014** a pour but de déterminer si la course pieds nus modifie le stress de l'articulation fémoro patellaire par rapport à la course chaussée.

La dernière étude de **McCallion, Ciara et al. 2014** quant à elle cherche à comparer les changements spatio-temporels, lors de la course pieds nus, chaussée et minimaliste

#### 4.3.2 Description des populations

Le nombre de participants est changeant d'une étude à l'autre. Les études comptabilisent de 10 à 60 personnes.

En totalisant les effectifs des six études sélectionnées, un total de 170 participants est compris dans cette revue de littérature. De ces 170 participants, 163 sont inclus aux analyses des études. La différence entre ces deux résultats correspond aux personnes exclues.

Les populations intégrées sont multiples allant de coureurs novices/récréatifs à des coureurs de compétitions/athlètes.

Les facteurs étudiés de la population sélectionnée sont nombreux et synthétisés dans l'Annexe (âge, taille, poids, IMC, programme d'entraînement...). **(Annexe 11)**

Les coureurs des six études ont des caractéristiques communes d'inclusions :

- Pratiquer régulièrement la course à pied
- Être capable de courir sur une distance définie
- Courir habituellement chaussés

Certaines études sélectionnent les coureurs selon des critères plus spécifiques comme pratiquer la course sur tapis roulant (**Da Silva, Camila C et al. 2020**) ou courir avec une méthode de frappe de l'arrière pieds (**Thompson, M et al. 2016**).

Elles ont aussi des caractéristiques communes d'exclusions :

- Les participants ne doivent présenter aucune blessure au cours des 6 derniers mois ni de pathologies musculosquelettiques ou neurologiques

L'étude de **Hollander, Karsten et al. 2019** quant à elle, exclut les participants s'ils ont de l'expérience dans un quelconque sport pieds nus.

Ainsi les coureurs des EC(N)R présentent des traits communs. Ils sont tous sains au moment de l'intervention et ont les facultés de poursuivre le protocole d'entraînement de l'étude.

Seules les études de **Hollander, Karsten et al. 2019** et de **Thompson, M et al. 2016** n'ont pas émis d'exigences concernant le niveau d'expérience des coureurs.

Par contre toutes les autres études ont choisi les participants en fonction de leurs années d'expérience, leurs vitesses de course et leurs distances de courses hebdomadaires.

Les deux sexes sont représentés dans les études de **Hollander, Karsten et al. 2019 ; Thompson, M et al. 2016 ; Bonacci, Jason et al. 2014**. Seules les études de **Da Silva, Camila C et al. 2020 ; Tam, Nicholas et al. 2016 ; McCallion, Ciara et al. 2014** ont inclus une population uniquement masculine.

Les personnes respectant les critères de sélections ont un âge compris entre 18 et 35 ans sauf dans l'étude **Tam, Nicholas et al. 2016** où l'âge n'est pas référencé.

Du point de vue anthropométrique (taille et poids) les valeurs des études ne fluctuent pas grandement (taille de 1.74m à 1.78m ; poids de 65kg à 70kg).

Deux études n'ont pas signalé ces données (**Da Silva, Camila C et al. 2020 ; Tam, Nicholas et al. 2016**).

#### 4.3.3 Description des interventions

Les données récupérées sur les différents équipements sont accessibles en (**Annexe 12**).

Trois études (**Da Silva, Camila C et al. 2020 ; Hollander, Karsten et al. 2019 ; McCallion, Ciara et al. 2014**) utilisent un tapis roulant motorisé et les trois autres se servent de pistes de courses :

- (**Bonacci, Jason et al. 2014**) une piste de course synthétique intérieure de 110m.
- (**Thompson, M et al. 2016**) une piste de 15m.
- (**Tam, Nicholas et al. 2016**) une piste intérieure synthétique de 40m.

La totalité des interventions est réalisée dans des laboratoires ou des centres de sports universitaires. On y retrouve des équipements spécifiques tels que des plateformes de force utiles pour analyser la pression plantaire et les forces de réactions au sol, plusieurs caméras de modèles différents (VICON,

CODA) afin d'enregistrer la cinématique du coureur et des marqueurs réfléchissants qui se placent au niveau des articulations.

Certaines interventions utilisent d'autres éléments tels que l'Echelle Visuelle Analogique (EVA) pour les DOMS ; l'esthésiomètre pour la sensibilité tactile du pied ; la lumière artificielle et une température contrôlée à 23°C pour l'étude de **Da Silva, Camila C et al. 2020**. Mais aussi une plateforme de stabilité (**Hollander, Karsten et al. 2019**), un accéléromètre pour contrôler l'impact d'accélération (**Thompson, M et al. 2016**) ou des portes de synchronisations qui enregistrent la vitesse du coureur (**Bonacci, Jason et al. 2014**).

En ce qui concerne les chaussures, les participants se sont servis de leurs propres chaussures dans les études de (**Da Silva, Camila C et al. 2020 ; McCallion, Ciara et al. 2014, Tam, Nicholas et al. 2016**).

Des modèles spécifiques comme la Asics 17 avec une chute de talon 10mm, un support voûte plantaire neutre et un poids de 336g a été utilisé pour l'étude de **2019** et une paire de NIKE Luna Racer avec un poids de 184.2g possédant une semelle arrière pied/ avant pied de 24/18mm pour l'étude de **Bonacci, Jason et al. 2014**.

Aucune information n'a été donnée sur le modèle pour l'étude de **Thompson, M et al. 2016**.

#### 4.3.4 Description des programmes d'entraînements

Le bilan initial des participants est analogue entre les études concernant le relevé des données anthropométriques et leurs séances hebdomadaires d'entraînements personnels.

Par contre selon les études, le programme de l'étude est très variable. On retrouve leur description en **(Annexe 13)**. On constate également que le temps de suivi est différent. Il en est de même pour le temps de course sur tapis/piste.

L'ECR de **Hollander, Karsten et al. 2019** a une durée de programme qui s'étale sur 8 semaines avec 7 séances espacées d'une semaine.

Une séance comprend 15 minutes de course (chaussé ou pieds nus) plus un test d'équilibre sur plateforme instable (30 sec x 15 fois avec une minute de pause entre).

Avant et après l'intervention les participants ont réalisé deux essais (chaussé et pieds nus) ou ils ont couru à une vitesse fixe de 10km/h sur tapis pendant 30 secondes avec une minute de repos entre les deux essais.

**Da Silva, Camila C et al. 2020** réalise un programme de 2 séances à 1 semaine d'intervalle. Entre les séances les participants maintiennent leur routine de CAP.

Une visite correspond à 8min d'échauffement sur tapis roulant puis 5km de course, une fois dans une condition (chaussée, pieds nus) et une fois dans l'autre et ce de manière randomisée.

De plus avant et après la course la sensibilité du pied et la pression plantaire sont évaluées.

Les DOMS le sont 48h après la séance.

Les 4 autres études sont sur des essais plus restreints en temps.

**Bonacci, Jason et al. 2014** effectuent un programme de course sur piste avec 20 essais de course sur 20m et **Tam, Nicholas et al. 2016** réalisent dans leur étude 6 essais de course sur 40m avec 2 longueurs

de piste d'échauffement. Les participants de ces ECR exécutent les essais de manière randomisée dans chacune des deux conditions (chaussée/pieds nus).

Pour **Thompson, M et al. 2016** l'essai se fait sur une piste de 15m dans les conditions (chaussée, pieds nus, pieds nus en frappant avec le talon). Les participants peuvent s'échauffer 5 à 10min et 10 foulées sont analysées pour calculer la moyenne dans chacune des conditions.

Le programme de **McCallion, Ciara et al. 2014** consiste en deux visites au laboratoire. La 1ère est une visite de familiarisation sur tapis roulant pendant 4minutes. La deuxième se déroule sur 6 périodes de 4min de course sur tapis avec 10min de repos entre chaque période dans chacune des 3 conditions (chaussée, pieds nus, Vibram Five Fingers) déterminées au hasard.

Sur ces 6 études il n'y a qu'une étude **Thompson, M et al. 2016** où l'examineur a demandé d'adopter un style de course différent aux participants (Groupe frappe du talon pieds nus).

Lors des ECR plusieurs vitesses de courses ont été utilisées :

- Vitesse de course auto sélectionnée par le coureur pour **Thompson, M et al. 2016 et McCallion, Ciara et al. 2014**
- Vitesse de course déterminée lors de l'échauffement **Da Silva, Camila C et al. 2020**
- Vitesse de course calculée en fonction de la moyenne de temps de course sur 10km ou vitesse moyenne calculée pendant un temps donné. **Hollander, Karsten et al. 2019 ; Tam, Nicholas et al. 2016 ; Bonacci, Jason et al. 2014**

#### 4.3.5 Description des critères de jugements

Dans ces différentes études les principaux critères de jugements examinés s'intéressent à tous ce qui concernent la biomécanique ainsi que les douleurs musculaires. Les critères de jugements et les similitudes entre chaque étude sont retrouvés dans (**Annexe 14**).

Pour les critères de jugements qui évaluent la course à pied d'un point de vue cinétique, on retrouve :

Les EC(N)R de **Hollander, Karsten et al. 2019 + Tam, Nicholas et al. 2016 + Thompson, M et al. 2016** qui analysent les Forces de Réaction au Sol (FRS) et le Taux de charge. Les moments articulaires sont évalués dans l'étude de **Bonacci, Jason et al. 2014**.

Pour les critères de jugements qui évaluent la course à pied d'un point de vue cinématique, on retrouve :

- L'analyse des angles articulaires au contact du sol pour la cheville, le pied et le genou et la hanche dans les études de **Da Silva, Camila C et al. 2020 ; Hollander, Karsten et al. 2019 ; Tam, Nicholas et al. 2016 ; Thompson, M et al. 2016 ; Bonacci, Jason et al. 2014**.
- La longueur de foulée dans les études de **Hollander, Karsten et al. 2019 ; Thompson, M et al. 2016 ; ; Bonacci, Jason et al. 2014 ; McCallion, Ciara et al. 2014**.
- La fréquence / cadence de foulée dans les études de **Da Silva, Camila C et al. 2020 ; Hollander, Karsten et al. 2019 ; Bonacci, Jason et al. 2014 ; McCallion, Ciara et al. 2014**.

- Le modèle de frappe du pied dans les études de **Hollander, Karsten et al. 2019 ; McCallion, Ciara et al. 2014.**
- L'amplitude de mouvement articulaire au contact du sol dans l'étude de **Da Silva, Camila C et al. 2020.**

D'autres critères de jugements sont spécifiques à certaines études comme :

- La pression et la sensibilité plantaire, les douleurs musculaires d'apparitions retardées et la surface de contact du pied au sol pour l'étude de **Da Silva, Camila C et al. 2020.**
- Le temps de contact et de vol lors de la course pour les études de **Hollander, Karsten et al. 2019 et McCallion, Ciara et al. 2014.**
- La vitesse et le pic d'impact pour **Thompson, M et al. 2016.**
- La vitesse et la rigidité articulaire pour **Tam, Nicholas et al. 2016.**
- La surface de contact, les forces de réaction et les contraintes de l'articulation fémoro-patellaire pour **Bonacci, Jason et al. 2014.**

## 5 Résultats des articles

### 5.1 Da Silva, Camila C et al. 2020

Pour cette étude la vitesse moyenne de course sur 5km est de 10 (0.7) km/h pour la condition chaussée et pieds nus.

Les données (cinétique et cinématique) ont été enregistrées pendant 30 secondes sur le 1<sup>er</sup>, 3<sup>ème</sup> et 5<sup>ème</sup> kilomètre.

Pour l'analyse des statistiques, les chercheurs ont calculé l'Intervalle de Confiance (IC), le (p) et se sont servis de la taille d'effet de Cohen (d) qui permet de montrer l'amplitude des différences de résultats obtenus entre les deux conditions. On retrouve  $d < 0.2$  = non effet ;  $d (0.2-0.4)$  = petit effet ;  $d (0.5-0.7)$  = effet intermédiaire et  $d > 0.8$  = grand effet.

Pour la condition pieds nu, les résultats de cette étude démontrent que d'un point de vue articulaire on retrouve dans un plan sagittal :

- Une plus grande **flexion de hanche** (degré °) au contact initial comparé à la condition chaussée :
  - 1<sup>er</sup> Km : 5 IC 95% [-0.43 ; 10.43] ;  $p=0.02$  et  $d=0.91$

On retrouve dans les résultats des chercheurs un p significatif, ainsi qu'un effet de Cohen de grand effet mais un intervalle de confiance qui passe par zéro. Il en va de même pour la majorité des résultats obtenus dans les études. Pour chaque résultat, on va s'appuyer sur l'IC ainsi on considèrera le résultat comme non significatif quand il passera par 0.

- 5<sup>ème</sup> Km : 4.25 IC 95% [0.75 ; 9.24] ;  $p=0.01$  et  $d=1.00$
- Pour le 3<sup>ème</sup> Km la flexion de hanche est diminuée -6 IC 95% [-10.61 ; -1.38] ;  $p=0.01$  et  $d=0.71$
- Une augmentation de la **flexion de genou** dans les trois moments évalués :
  - 1<sup>er</sup> Km : 2 IC 95% [-2.24 ; 6.24] ;  $p < 0.05$  et  $d > 0.70$
  - 3<sup>ème</sup> Km : 3 IC 95% [-0.92 ; 6.92] ;  $p < 0.05$  et  $d > 0.70$
  - 5<sup>ème</sup> Km : 5 IC 95% [1.08 ; 8.92] ;  $p < 0.05$  et  $d > 0.70$

Concernant la partie ci-dessus (hanche-genou), on retrouve des différences entre le schéma et la partie manuscrite des résultats. Il semblerait que le schéma montre une augmentation de flexion de hanche et de genou au contact initial du sol pour la condition pieds nus tandis que la partie résultat de l'étude exprime l'inverse.

- Une augmentation de la **flexion plantaire** (degré °) de la cheville :
  - 3<sup>ème</sup> km : -4 IC 95% [-7.48 ; -0.51] ;  $p=0.04$  et  $d=0.88$
  - 5<sup>ème</sup> km : -2 IC 95 % [-5.92 ; 1.92] ;  $p < 0.01$  et  $d=0.39$
  - Pour le 1<sup>er</sup> kilomètre il n'y a pas de flexion plantaire plus élevée pieds nus avec un  $p=0.88$

Grâce à ces changements articulaires lors du passage pieds nus, la frappe passe d'un pied arrière à un pied avant ce qui permet d'interpréter ce schéma comme une stratégie pour minimiser l'impact de contact au sol.

D'autre part, pour amortir l'impact lors de la CAP pieds nus le participant peut adopter en plus d'un changement articulaire, une modification de la cadence de la foulée.

Cette **cadence de foulée** (pas/min) est plus élevée pieds nus comparée à la condition chaussée pour :

- 1<sup>er</sup> Km : -10 IC 95% [-20.45 ; 0.45] ;  $p < 0.01$  et  $d = 0.81$
- 3<sup>ème</sup> Km : -10 IC 95% [-21.63 ; 1.63]  $p = 0.02$  et  $d = 0.64$
- 5<sup>ème</sup> Km : -11 IC 95% [-22.31 ; 0.31] ;  $p < 0.01$  et  $d = 0.68$

Ce changement permet d'influencer positivement la charge sur les membres inférieurs.

L'amplitude de mouvement n'a pas varié en raison de la vitesse constante et de l'intensité sous maximale.

48h après l'intervention les sujets ont été évalués sur la perception des douleurs musculaires d'apparition retardées (**DOMS**). Les résultats démontrent une augmentation des DOMS (sous forme d'échelle visuelle allant de 0 à 10 points) pour la course pieds nus en raison d'une technique de course différente qui a sollicité plus intensément certains groupes musculaires (Triceps Sural). 3.8 IC 95 % [2.75 ; 4.85] ;  $p < 0.01$  et  $d = 2.85$ .

Ainsi la course chaussée a donné un DOMS de 2(0.7) et la course pieds nus un DOMS de 5.8(1.7).

Le taux d'effort a été quantifié à l'aide de l'échelle de Borg (0 à 10 points) au 1<sup>er</sup>, 3<sup>ème</sup> et 5<sup>ème</sup> km. Il y a une augmentation du taux d'effort pour la condition pieds nus au kilomètre 3, 0.81 IC 95% [-0.89 ; 2.51] ;  $p < 0.01$  ;  $d = 1.56$  ainsi qu'au kilomètre 5, 0.89 IC 95% [-0.61 ; 2.39] ;  $p = 0.04$  ;  $d = 1.14$ . Le 1<sup>er</sup> kilomètre quant à lui ne présente aucune différence ( $p = 0.06$ )

## 5.2 Hollander, Karsten et al. 2019

Lors de cette étude, peu de différences statistiquement significatives se retrouvent entre les groupes que ce soit pour l'âge, le poids, l'IMC, la taille ou le sexe. Par contre, pour 7 personnes il y a eu une perte de suivi pour divers motifs : la maladie (n=5), une rupture des ligaments antérieurs (n=1) et une blessure à l'orteil (n=1), non liées à l'étude.

Il y a donc au total n=19 pour le groupe pieds nus ; n=18 pour le groupe chaussé et n=16 pour le groupe contrôle.

Cette ECR met en évidence que lors du passage brutal de la course chaussée à la course pieds nus (pré test), les participants à cette étude ont révélé des adaptations cinématiques et cinétiques :

- Une plus grande flexion plantaire au contact du sol
- Une augmentation de la flexion de genou
- Une augmentation de la cadence de la foulée
- Une réduction du temps de contact et de la longueur de la foulée
- Des taux de charges verticaux moyens inférieurs

	Pré-test	Post-test
Indice de frappe du pied	Pieds nus : 0.28 (0.28) Chaussé : 0.09 (0.09) 0.19 IC 95 % [0.05 ; 0.33]	Pieds nus : 0.40 (0.27) Chaussé : 0.10 (0.11) 0.3 IC 95 % [0.16 ; 0.44]
Angle de la cheville au contact du sol (degré)	Pieds nus : -4.2 (6.1) Chaussé : -11.6 (5.1) 7.4 IC 95 % [3.57 ; 11.23]	Pieds nus : -3.2 (5.6) Chaussé : -10.1 (6.0) 6.9 IC 95 % [2.97 ; 10.83]
Angle du pied au contact du sol (degré)	Pieds nus : -11.28 (9.88) Chaussé : -20.8 (6.01) 9.52 IC 95 % [3.90 ; 15.14]	Pieds nus : -8.64 (8.91) Chaussé : -21.29 (6.30) 13.26 IC 95 % [7.97 ; 18.55]
Angle du genou au contact du sol (degré)	Pieds nus : 6.38 (6.42) Chaussé : 7.87 (5.48) -1.49 IC 95 % [-5.56 ; 2.58]	Pieds nus : 7.71 (5.81) Chaussé : 8.57 (4.56) -0.86 IC 95 % [-4.43 ; 2.71]
Temps de contact (secondes)	Pieds nus : 0.27 (0.02) Chaussé : 0.29 (0.02) -0.02 IC 95 % [-0.03 ; -0.01]	Pieds nus : 0.27 (0.02) Chaussé : 0.29 (0.03) -0.02 IC 95 % [-0.04 ; 0]
Temps de vol (secondes)	Pieds nus : 0.09 (0.02) Chaussé : 0.09 (0.02) 0 IC 95 % [-0.01 ; 0.01]	Pieds nus : 0.09 (0.02) Chaussé : 0.09 (0.02) 0 IC 95 % [-0.01 ; 0.01]
Cadence (pas/min)	Pieds nus : 166.84 (11.78) Chaussé : 158.06 (6.0) 8.78 IC 95 % [2.33 ; 15.23]	Pieds nus : 167.58 (10.81) Chaussé : 157.25 (6.76) 10.33 IC 95 % [4.14 ; 16.52]
Longueur de pas (mètre)	Pieds nus : 1.00 (0.07) Chaussé : 1.06 (0.04) -0.06 IC 95 % [-0.10 ; -0.02]	Pieds nus : 1.00 (0.06) Chaussé : 1.06 (0.05) -0.06 IC 95 % [-0.10 ; -0.02]
Taux de charge vertical moyen (N. Kg-1s-1)	Pieds nus : 230.4 (38.6) Chaussé : 251.7 (48.9) -21.3 IC 95 % [-50.98 ; 8.38]	Pieds nus : 243.9 (44.4) Chaussé : 239.5 (36.9) 4.4 IC 95 % [-23.45 ; 32.25]
FRS verticale moyenne (N. Kg-1)	Pieds nus : 11.4 (1.0) Chaussé : 11.4 (1.1) 0 IC 95 % [-0.71 ; 0.71]	Pieds nus : 11.4 (1.0) Chaussé : 11.1 (1.0) 0.3 IC 95 % [-0.38 ; 0.98]
FRS verticale maximale (N. Kg-1)	Pieds nus : 20.3 (1.7) Chaussé : 20.7 (2.0) -0.4 IC 95 % [-1.65 ; 0.85]	Pieds nus : 20.2 (1.6) Chaussé : 20.5 (1.9) -0.3 IC 95 % [-1.49 ; 0.89]

Tableau 6 : Calcul Intervalles de Confiances des Critères de jugements

Une fois les 8 semaines écoulées et le post test effectué on remarque que le taux de charge vertical moyen est plus élevé pieds nus que chaussé.

### 5.3 Thompson, M et al. 2016

Les résultats de cette étude montrent une **longueur de foulée** significativement plus petite pour la condition pieds nus comparée à celle chaussée avec un ( $P=0.038$ ) et  $-0.12$  IC 95%  $[-0.28 ; 0.04]$   
En revanche il n'y a pas de différence significative dans la **vitesse de course**  $-0.12$  IC 95%  $[-0.33 ; 0.09]$ .

**L'accélération maximale résultante** sur le **tibia** est de  $11.32$  ( $1.48$ ) et  $11.27$  ( $1.73$ ) pour les conditions pieds nu et chaussé. Ainsi on obtient  $0.05$  IC 95%  $[-1.46 ; 1.56]$ .

**L'accélération maximale résultante** au niveau de la **tête** est de  $2.44$  ( $0.71$ ) et  $2.46$  ( $0.85$ ). Ainsi on obtient  $-0.02$  IC 95%  $[-0.76 ; 0.72]$

En général dans l'étude il y a très peu de disparités dans la cinématique des membres inférieurs. Cependant, on retrouve des différences significatives dans **l'angle de la cheville** dans le plan sagittal au contact du sol entre la condition chaussée et pieds nus  $-21$  IC 95%  $[-26.96 ; -15.04]$ . Lors de la condition pieds nus les participants ont attaqué la pose du pied avec une plus grande flexion plantaire tandis que dans la condition chaussée les participants ont posé le pied en dorsiflexion.

Il n'y a pas de différence significative pour la **flexion de genou**  $2.5$  IC 95 %  $[-3.37 ; 8.37]$  ni pour la **flexion de hanche**  $-0.4$  IC 95%  $[-11.68 ; 10.88]$

Par contre, il y a des différences significatives dans l'amplitude du **pic d'impact** ( $p=0.004$ ) et  $-0.33$  IC 95%  $[-0.53 ; -0.13]$ . En effet il y avait une présence de pic d'impact dans 67% des essais pieds nus contre 79% des essais chaussés. Il en va de même pour les **FRS verticales**  $-0.02$  IC 95%  $[-0.25 ; 0.21]$ .

Il n'y avait aucune différence significative dans le **taux de charge**  $-12.7$  IC 95%  $[-53.93 ; 28.53]$ , le pic de FRS horizontale, médio latéral ainsi que les moments articulaires dans les deux conditions.

### 5.4 Tam, Nicholas et al. 2016

Pour cette étude la **vitesse de course** moyenne est de  $3.5 \pm 0.5$  m. s<sup>-1</sup> soit 12.6Km/h pour les conditions pieds nus et chaussées.

Le **taux de charge initial** (BW. s<sup>-1</sup>) était significativement plus grand lors de l'essai pieds nus avec un  $p=0.001$  et  $77.29$  IC 95%  $[35,47 ; 119.11]$ .

Il n'y a aucune différence significative pour le **pic d'impact** (BW)  $0$  IC 95%  $[-0.09 ; 0.09]$ .

D'un point de vue articulaire, il y a une diminution de la **dorsiflexion de la cheville** (°) pieds nus au contact au sol  $-10.6$  IC 95%  $[-14.37 ; -6.83]$  ;  $p<0.01$ , l'attaque du pied se fait en flexion plantaire, on passe d'une moyenne chaussée de  $8.6(9.6)$  à pieds nus  $-2.0(9.6)$ .

La **rigidité articulaire** (Nm. °<sup>-1</sup>) de la cheville présente également une diminution significative vis-à-vis de l'essai chaussé avec  $-3.4$  IC 95 %  $[-7.53 ; 0.73]$  ;  $p=0.01$

**L'angle de flexion du genou** au contact du sol était plus grands pieds nus que chaussé avec un  $p=0.019$  et un  $1.8$  IC 95%  $[-0.70 ; 4.30]$ , en revanche pour la **rigidité articulaire** les valeurs ne sont pas significatives  $2.6$  IC 95%  $[-0.42 ; 5.62]$

Pour terminer, **les moments** (Nm.kg-1) **de cheville et de genou** sont respectivement :

- -0.1 IC 95% [-0.18 ; -0.02]
- 0.1 IC 95 % [-0.04 ; 0.24]

## 5.5 Bonacci, Jason et al. 2014

Dans cette étude, se retrouve l'utilisation de « la différence de moyenne standardisée (SMD) ». Un  $SMD \leq 0.2$  est une petite différence d'effet ;  $SMD = 0.5$  est une différence modérée ;  $SMD = 0.8$  est une grande différence.

La vitesse moyenne de course pour les deux conditions est de 16,1 (1.6) Km/h.

On retrouve dans cette étude une **longueur de foulée** (m) plus courte avec un ( $p=0.000$ ) ;  $SMD = 0.2$  et  $-0.08$  IC 95% [-0.09 ; -0.06] ainsi qu'une **fréquence de foulée** plus élevée lors de la course pieds nus par rapport à la course chaussée avec un ( $p=0.000$ ) ;  $SMD=0.4$  et  $3.8$  IC 95% [2.5 ; 5.2].

D'un point de vue **articulaire la cheville** était significativement moins en flexion dorsale lors de la course pieds nus ( $p=0.000$ ) ;  $SMD=0.4$  et  $-3.5$  IC 95% [-4.98 ; -1.97] avec une valeur moyenne de 0.78(8.4) pieds nus et 4.25(8.5) chaussée.

Cette étude démontre que **l'angle maximal de flexion de genou** (°) est diminué pour l'essai pieds nus comparé à chaussé ( $p=0.027$ ) le  $SMD = 0.6$  et  $-2.1$  IC 95% [-2.7 ; 1.5]

Le **moment maximal de l'extension du genou** (Nm/kg) est significativement diminué pour l'essai pieds nus avec un ( $p=0.000$ ) et  $-0.27$  IC 95% (-0.35 ; -0.19) et  $SMD=0.7$

La **force de réaction maximale de l'articulation fémoro patellaire** (N/kg) est significativement diminuée pour la condition pieds nus avec un  $p=0.000$  ;  $SMD=0.8$  et  $-8.9$  IC 95% [-11.0 ; -6.8]

La **contrainte maximale sur l'articulation fémoro patellaire** est significativement diminuée pour l'essai pieds nus avec ( $p=0.000$ ) et  $-2.4$  IC 95% [-3.0 ; -1.8] ;  $SMD=0.5$

## 5.6 McCallion, Ciara et al. 2014

Les résultats de cette étude montrent une **durée de la foulée** (ms) significativement diminuée pieds nus comparée à celle chaussée pour les deux vitesses ( $V1=13\text{Km/h} \pm 1.0$  et  $V2=16.1\text{Km/h} \pm 1.3$ )

Pour  $V1$  on retrouve un ( $p<0.001$ ) et  $-36$  IC 95% [-80.19 ; 8.19] et pour  $V2$  un ( $p<0.001$ ) et  $-35$  IC95% [-70.74 ; 0.74]

A contrario la **fréquence de la foulée** (foulée.min-1) sera plus élevée pieds nus par rapport à chaussée pour  $V1$  on a un ( $p<0.001$ ) et  $4.1$  IC 95% [-1.18 ; 9.38] et pour  $V2$  un ( $p<0.001$ )  $4.6$  IC 95% [-0.07 ; 8.27]

En ce qui concerne le temps de contact au sol et le temps de vol, ils sont significativement diminués pour la condition pieds nus par rapport à chaussée :

**Temps de contact** (ms) :  $V1$  ( $p<0.05$ ) et  $-25$  IC 95% [-50.28 ; 0.28]  
 $V2$  ( $p<0.05$ ) et  $-14$  IC 95% [-36.17 ; 8.17]

**Temps de vol** (ms) :  $V1$  ( $p<0.05$ ) et  $-14$  IC 95% [-50.55 ; 22.55]  
 $V2$  ( $p<0.05$ ) et  $-20$  IC 95% [-51.47 ; 11.47]

Le modèle de frappe du pied durant l'essai n'a pas changé, la majorité des participants ont adopté un modèle de frappe du médio pied dans les deux conditions et dans les deux vitesses de course. Etant des sportifs de hauts niveaux et habitués à la course à pied, ces derniers avaient déjà ce modèle de frappe qui était antérieur par rapport aux coureurs récréatifs.

	<b>Critères retenus pour CAP pieds nus</b>	<b>Critères non retenus</b>	<b>Commentaires</b>
<b>Da Silva, Camila C et al. 2020</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>↗ Taux d'effort</li> <li>↗ Flexion de hanche</li> <li>↗ Flexion de genou</li> <li>↗ Flexion plantaire de cheville</li> <li>↗ Cadence de foulée</li> <li>↗ DOMS</li> <li>- Pas de modification d'amplitude articulaire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Pression plantaire</li> <li>-Sensibilité du pieds</li> <li>-Surface de contact</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Taux d'effort non significatif</li> <li>- Flexion de hanche non significative au 1<sup>er</sup>Km</li> <li>- Flexion de genou non significative aux 1<sup>er</sup> et 3<sup>ème</sup> Km</li> <li>- Flexion plantaire cheville non significative au 1<sup>er</sup> et 5<sup>ème</sup> Km</li> <li>- Cadence de foulée non significative</li> </ul>
<b>Hollander, Karsten et al. 2019</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>↗ Indice de frappe du pied</li> <li>↗ Flexion plantaire de cheville</li> <li>↗ Flexion de genou</li> <li>↗ Cadence de foulée</li> <li>↘ Temps de contact</li> <li>↘ Longueur de la foulée</li> <li>↘ Taux de charge vertical moyen (pré test) et ↗ (post test)</li> <li>- Pas de changement des FRS verticale moyenne et maximale</li> </ul>	x	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Flexion de genou non significative (pré et post)</li> <li>- Temps de contact et de vol non significatifs (pré et post)</li> <li>- Taux de charge vertical moyen, FRS verticale moyenne et maximale pas significatifs (pré et post)</li> </ul>
<b>Thompson, M et al. 2016</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>↘ Pic d'impact</li> <li>↘ Longueur de la foulée</li> <li>↗ Flexion plantaire de cheville</li> <li>↗ Flexion de genou</li> <li>↗ Flexion de hanche</li> <li>↘ taux de charge</li> <li>- Pas de différence de vitesse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Pic vertical de FRS</li> <li>-Pic antéro-postérieur de FRS</li> <li>-Pic médio latéral de FRS</li> <li>-Adduction et rotation interne de cheville</li> <li>-Genou varus et rotation interne de genou</li> <li>-Adduction et Rotation interne de Hanche</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Longueur de foulée non significative</li> <li>- Vitesse non significative</li> <li>- Taux de charge pas significatif</li> <li>- Flexion de genou pas significative</li> <li>- Flexion de hanche non significative</li> </ul>

Tableau 7 : Tableau de synthèse des résultats (partie 1)

	<b>Critères retenus pour CAP pieds nus</b>	<b>Critères non retenus</b>	<b>Commentaires</b>
<b>Tam, Nicholas et al. 2016</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>↗ Taux de charge au contact initial</li> <li>- Pas de différence Pic d'impact</li> <li>↗ Flexion plantaire de la cheville</li> <li>↘ Rigidité articulaire de la cheville</li> <li>↘ Moment (Force) de la cheville au contact du sol</li> <li>↗ Flexion de genou</li> <li>↗ Rigidité articulaire du genou</li> <li>- Pas de différence du moment du genou au contact du sol</li> <li>- Pas de différence de vitesse</li> </ul>	- données plan frontal	Pas de différences significatives : -Pic d'impact - Rigidité de la cheville au contact du sol -Flexion, rigidité articulaire du genou, moment genou au contact du sol
<b>Bonacci, Jason et al. 2014</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>↘ Longueur de la foulée</li> <li>↗ Fréquence de la foulée</li> <li>↘ de la dorsiflexion de la cheville au contact du sol</li> <li>↘ Angle maximal de flexion de genou</li> <li>↘ Moment maximal de l'extension du genou</li> <li>↘ Force de réaction Fémoro patellaire maximale</li> <li>↘ Contrainte Fémoro patellaire maximale</li> <li>- Pas de différence de vitesse</li> </ul>	↘ surface de contact maximale utilisée	✘
<b>McCallion, Ciara et al. 2014</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Vitesse</li> <li>↘ Durée de foulée</li> <li>↘ Temps de vol</li> <li>↘ Temps de contact</li> <li>↗ Fréquence de la foulée</li> <li>- Pas de changement modèle de frappe du pied</li> </ul>	✘	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Durée de foulée non significative (pour V1 et V2)</li> <li>- Idem pour fréquence de foulée</li> <li>- Idem temps de contact et temps de vol</li> </ul>

Tableau 7 : Tableau de synthèse des résultats (Partie 2)

## 6 Discussion

Cette partie est consacrée dans un premier temps à l'analyse des résultats suivi du retour sur hypothèses énoncées préalablement et d'une actualisation des résultats en comparaison avec la revue systématique [35].

Nous nous intéresserons ensuite aux biais des études, à l'applicabilité des résultats et pour terminer à la qualité de preuves des études, aux biais potentiels et limites de ma revue.

### 6.1 Analyse des Résultats

L'interprétation des résultats peut se faire à l'aide de la valeur statistique  $p$  qui démontre si l'intervention conduite est statistiquement significative et non due au hasard. Néanmoins cette valeur n'interprète pas cliniquement les résultats. Dans la mesure du possible, l'intervalle de confiance qui donne la taille d'effet, sera utilisé car il est le plus susceptible d'établir la méthode de course la plus adéquate.

Dans toutes les études nous avons observé des modifications que ce soit au niveau de la Cinétique ou bien de la Cinématique.

Dans un premier temps nous allons analyser et mettre en lien tous les critères des essais qui étudient le mouvement du corps dans l'espace. (Cinématique)

Deux études s'intéressent à **l'indice de frappe du pied**, celle de **Hollander, Karsten et al. 2019** et celle de **McCallion, Ciara et al. 2014**.

« L'indice a été déterminé comme la distance comprise entre le talon et le centre de pression au moment du contact au sol et divisé par la longueur pied/chaussure. Pour cette raison les valeurs sont comprises entre 0 et 1. » d'après l'étude de **Hollander, Karsten et al 2019**.

Dans son étude de **2019, Hollander** a révélé des différences significatives avant et après test dans le groupe d'habitude pieds nus. En effet on constate qu'il y a une augmentation notable de l'indice de frappe du pied avec un placement plus antérieur de celui-ci dans le groupe pieds nus par rapport à chaussé.

On retrouve une taille d'effet pré test de 0.19 et post test de 0.3. Cela indique une majoration de la frappe avant du pied, pieds nus comparée à chaussé. De surcroît, il y a une augmentation sur les 8 semaines de cet indice. On constate que les résultats sont significatifs mais l'intervalle de confiance est proche de zéro, ainsi l'effet trouvé reste limité.

Par contre dans l'étude de **Mac Callion, Ciara et al. 2014** il n'y a pas eu vraiment de modifications dans le modèle de frappe du pied. En effet la majorité des coureurs ont adopté un modèle MFS (médio pied) sans tenir compte de la vitesse ou de la condition (pieds nus/chaussée). D'après l'étude, l'utilisation du tapis roulant au lieu d'une course sur sol, pourrait avoir influencé le nombre élevé de MFS. Par ailleurs les participants à l'étude étaient des athlètes de compétition, des coureurs de demi-fond, habitués à courir rapidement et donc à utiliser un modèle de frappe MFS par rapport à des coureurs occasionnels. Dans cette étude les scientifiques supposent que le modèle de frappe pourrait être un « modèle moteur appris ». Et donc il n'est pas instantanément modifié lors du changement de condition chaussée/pieds nus et il faudrait un certain temps pour que cela puisse se concevoir.

Mais ce n'est qu'une supposition et il faudrait d'autres études pour appuyer cette hypothèse.

Quand on passe de la CAP chaussée à la CAP pieds nus on observe que les participants adoptent une **cadence de foulée** plus élevée pour les études de (Da Silva, Camila C et al. 2020 ; Hollander, Karsten et al. 2019 ; Bonacci, Jason et al. 2014. ; McCallion, Ciara et al. 2014.) et cela même si les surfaces de courses sont différentes.

En effet pour les études de 2020, 2019, 2014 (McCallion, Ciara et al), un tapis de course est utilisé alors que Bonacci, Jason et al. 2014 ont recours à une piste de course. Il est en de même en ce qui concerne la durée de l'intervention qu'elle soit à court terme (1 séance) ou à long terme (étalée sur 8 semaines), à des vitesses de courses différentes allant de 10km/h à 16Km/h ou avec des participants de niveaux différents (novices/récréatifs ; compétiteurs/athlètes)

Mais ces résultats sont à prendre avec précaution car en effet dans deux des études, ils ne sont pas significatifs :

Malgré le fait qu'il y est eu une augmentation d'en moyenne **10pas/min** pour l'étude de 2020 (lors des enregistrements aux différents Km (1,3,5) l'intervalle de confiance passe par 0 :

- 1<sup>er</sup> Km : -10 IC 95% [-20.45 ; 0.45]
- 3<sup>ème</sup> Km : -10 IC 95% [-21.63 ; 1.63]
- 5<sup>ème</sup> Km : -11 IC 95% [-22.31 ; 0.31]

Ainsi que pour l'étude de 2014 (McCallion, Ciara et al.) :

La taille d'effet se situe entre 4.1 (V1) et 4.6 pas/min (V2) mais une fois encore l'intervalle de confiance passe par 0 aux deux vitesses :

(V1) 4.1 IC 95% [-1.18 ; 9.38] et pour (V2) un 4.6 IC 95% [-0.07 ; 8.27]

Pour les autres études de 2019 (pré et post test) et 2014 (Bonacci, Jason et al) on retrouve des résultats significatifs avec une augmentation de 8.78 (pré test) à 10 pas/min (post test) et de 3.8 pas/min respectivement.

Suite à cette augmentation de la cadence de foulée et une vitesse similaire dans les deux conditions (pieds nus/chaussée), on retrouve une **longueur de foulée** diminuée dans trois études.

C'est le cas pour l'étude de 2019 et de 2014 (Bonacci, Jason et al.) où les résultats sont significatifs avec une légère diminution de la longueur de la foulée de -0.06m (pré et post test) et -0.08m respectivement.

Pour l'étude de 2016 (Thompson, M et al.) les résultats ne sont pas significatifs malgré une taille d'effet de -0.12m.

En ce qui concerne **le temps de contact au sol et le temps de vol** on constate qu'ils sont diminués dans l'étude de 2014 (McCallion, Ciara et al).

Dans le cas de l'étude de 2014, la population étudiée d'athlètes de compétition et notamment de coureurs de demi-fond court à des vitesses de courses élevées en choisissant une attaque médio pied pour réduire **le temps de contact** au sol (206±34 millisecondes pieds nu contre 231±31 chaussé à V1 ; et 176±27ms contre 190±30ms à V2).

Quand le temps de contact au sol est plus court, cela génère plus de puissance et une augmentation de la rapidité.

Chez les coureurs lambdas, le temps de contact au sol est de 160 à 300 millisecondes (200ms pour les professionnels).<sup>9</sup>

On obtient donc une taille d'effet de -25ms pour V1 et -14ms pour V2 mais l'intervalle de confiance passe par zéro ce qui rend les résultats non significatifs.

Le **temps de vol** était également diminué.

Les valeurs retrouvées sont de -14ms avec un IC 95% [-50,55 ; 22,55] à V1 (13km/h±1,0)

-20ms avec un IC 95% [-51,47 ; 11,47] à V2 (16,1km/h±1,3)

Elles ont tendance à montrer une diminution du temps de vol mais ne sont pas significatives.

Pour 2019 le **temps de contact** au sol ne fluctue pas. La taille de l'effet est de -0,02ms avec un IC 95% [-0,03 ; -0,01] Prétest et de -0,02ms avec un IC 95% [-0,04 ; 0] Post test

Et le **temps de vol** n'est pas significatif car dans les deux cas (Prétest et Posttest) il passe par 0 [-0,001 ; -0,001]

Il est difficile de mettre en lien les résultats de ces deux études car la vitesse appliquée dans chacune des études est différente. Pour **2019** elle est de 10,7±0,09km/h. Il en va de même pour les participants et la standardisation des études.

### Au niveau articulaire

Dans les études intégrées à la revue, on se rend compte qu'il y a lors de la CAP pieds nus une augmentation de **la flexion de hanche, du genou et de la flexion plantaire de cheville**.

En effet dans l'étude de **2020** les références utilisées pour la position neutre était de 180° pour la hanche et le genou et 90° pour la cheville et on remarque une augmentation de la flexion de la hanche > à 180° pour le 1<sup>er</sup> et le 5<sup>ème</sup> km par contre au km 3, la flexion diminue comparé à la condition chaussée. De même pour le genou une plus grande flexion a été enregistrée au cours des moments évalués (l'angle du genou était < à 180°). Quant à la cheville c'est au km 3 et 5 qu'elle a présenté une flexion plus élevée.

Dans les résultats obtenus on obtient pour la **hanche** :

- Une taille d'effet de +5° pour le 1<sup>er</sup> km ;
- Une taille d'effet de +4.25° pour le 5<sup>ème</sup> Km ;
- Une taille d'effet de -6° au 3<sup>ème</sup> km

En revanche les résultats sont peu, voire pas significatifs.

Il a y augmentation de la flexion de **genou** de +2°, +3°, +5° aux km 1,3 et 5. Le résultat est significatif que pour le Km 5.

Pour la **cheville** on retrouve au km 3 une augmentation de 4° et de 2° pour le km5. Le résultat n'est significatif que pour le Km 3.

Il faut prendre avec précaution tous les résultats significatifs car ils ont un IC proche de 0.

Pour les autres études (**2019 ; 2016 (Thompson,M et al.) ; 2016 (Tam, Nicholas et al.)**) nous avons noté une augmentation de la flexion plantaire de la cheville et pour **2014 (Bonacci, Jason et al.)** une diminution de la dorsiflexion de la cheville au contact du sol.

La taille d'effet entre la condition pieds nus et chaussée est de :

---

<sup>9</sup> <https://www.sport-et-fitness.fr/ameliorer-temps-contact-sol-course-pied/>

+7.4° (pré test) et +6.9° (post test) de flexion plantaire pour pieds nus avec l'étude de 2019 (Hollander).  
+21° pour l'étude de Thompson.  
+10.6° pour l'étude de Tam.  
-3.5° de dorsiflexion pour l'étude de Bonacci.  
Tous les résultats sont significatifs.

Pour ce qu'il en est de l'augmentation de la **flexion du genou** les études **2019 ; 2016 (Thompson) ; 2016 (Tam)** ont montré les mêmes adaptations cinématiques que l'étude de **2020** avec des résultats non significatifs. Sauf celle de **2014 (Bonacci)** qui estime qu'il y avait une diminution de l'angle de flexion du genou pendant la phase d'appui ce qui entraînait une baisse de la sollicitation des quadriceps et une réduction de la force de réaction de l'articulation fémoro patellaire.  
Cette discordance avec les autres études peut être due entre autres au fait que l'étude est moins récente que les autres (**2014**).

Au sujet des **amplitudes articulaires** seule l'étude de **2020** considère qu'il n'y avait pas de différence entre les conditions pieds nus et chaussées pour tous les angles articulaires considérés (hanche, genou, cheville). Les raisons évoquées sont que les participants couraient à une vitesse constante et une intensité sous maximale entre chaque condition. Les autres études n'abordaient pas ce critère.

Il faut donc bien prendre en considération que les valeurs significatives des modifications cinématiques ont un intervalle de confiance proche de zéro, donc même s'il peut y avoir un effet cela reste limité. De plus les valeurs comprises dans l'IC sont éloignées les unes des autres (grande disparité au niveau de l'effet). Cela aurait été préférable d'avoir un moins grand écart car on ne peut pas déterminer avec exactitude l'effet prodigué.

### Cinétique

Les **FRS** se différencient par l'intensité du **Pic d'Impact** et la vitesse à laquelle le sol sera frappé par le coureur (**Taux de Charge**). Celui-ci joue un rôle important sur les contraintes exercées au niveau des différentes articulations pendant la course. Effectivement des taux de charge infligés de façon récurrente aux membres inférieurs peuvent être source de blessures.

Pour le **Pic d'Impact** chez **Thompson, M et al. 2016** on retrouve une diminution de l'amplitude de celui-ci ( -0,33 (BW=Body Weight) avec un IC 95% [-0,53 ; -0,13]) qui semble être dû à une diminution de la longueur de la foulée et une augmentation de la flexion plantaire.

Par contre pour l'étude **Tam, Nicholas et al. 2016** le **Pic d'Impact** ne présente pas de différence que ce soit chaussée/pieds nus. (0 BW avec un de IC 95% [-0,09 ; 0,09])

Concernant le **Taux de Charge** :

Dans l'étude de **Thompson, M et al. 2016**, on retrouve une diminution du taux de charge pour la condition pieds nus avec une taille d'effet de -12.7 BW/s et un IC 95% [ -53.93 ;58.53]. Ce résultat est non significatif.

Pour l'étude de **Tam, Nicholas et al. 2016** le groupe pieds nus a atterri avec une plus grande flexion plantaire et une plus grande flexion du genou au contact initial.

La première idée est que les coureurs chaussés présenteraient des Taux de charge initiaux diminués lorsqu'ils passent pieds nus. Cette supposition n'est pas confirmée dans cette étude car le taux de charge initial pieds nus est plus élevé que chaussé (+77,29 BW/s avec un IC 95% [35,47 ; 119,11]). Ça réfute l'idée qu'il y ait une réduction des taux de charge initiaux instantanément chez les coureurs chaussés lorsqu'ils passent pieds nus.

Dans cette étude les résultats remettent en cause le bénéfice de la CAP pieds nus sur le Taux de Charge. En effet celui-ci aurait dû diminuer mais les 2/3 de l'échantillon ont augmenté leur taux de charge lorsqu'ils sont pieds nus.

Le sexe des participants peut, peut-être intervenir dans ces différences biomécaniques car l'étude n'a été réalisée qu'avec des hommes qui avaient l'habitude de la CAP chaussée. De plus certains d'entre eux ont pu maintenir une frappe arrière pieds lors de la condition pieds nus et cela a pu contribuer à une augmentation du taux de charge en raison de l'absence de chaussure pour amortir le choc.

En ce qui concerne l'étude de **2019**, lors du passage de la CAP chaussée à la CAP pieds nus (Pré-test), les mêmes adaptations cinétiques ont été retrouvées que dans l'étude de **Thompson, M et al. 2016**, et notamment un **Taux de Charge** vertical moyen inférieur. Mais après une habitude à la CAP pieds nus (8 semaines, Post-test), les participants faisaient apparaître des taux de charge verticaux moyens plus élevés comme dans l'étude de **Tam, Nicholas et al. en 2016**.

Ce qui était contraire avec une éventuelle prévention des blessures. En effet dans plusieurs études on a constaté que la CAP pieds nus réduisait le taux de charge vertical moyen et pouvait ainsi éviter les blessures.

L'augmentation du taux de charge pourrait entre autres découler d'une plus grande raideur de la cheville.

Les **vitesse**s d'intervention des études ont été fixées de manière différente (de 10km/h à 16km/h et pour certaines études à des vitesses auto sélectionnées). Cependant, dans chacune des études, la vitesse de course entre la condition chaussée et la condition pieds nus n'a pas fluctué quand les participants couraient à une vitesse auto sélectionnée.

Deux études ont abordé l'impact de la CAP pieds nus sur les **blessures**.

Dans l'étude de **Bonacci, Jason et al. 2014**, enlever les chaussures peut permettre de réduire le stress de l'articulation fémoro patellaire lors de la course à pied. En effet cette réduction du stress fémoro-patellaire a été générée par un plus petit angle de flexion lors de la phase d'appui de la course. Ce changement est dû à des diminutions de la longueur de foulée, de la diminution de la dorsiflexion de la cheville au contact du sol ce qui permet aux membres inférieurs d'être plus dans l'alignement du corps et exerce moins de force sur les quadriceps.

En revanche les coureurs sont des coureurs novices dans la course à pied, pieds nus et donc leur cinématique de course peut ne pas être significative par rapport à des coureurs pieds nus habituels. C'est donc une limite de l'étude car le stress de l'articulation fémoro-patellaire pourrait être modifié avec l'habitude à cette méthode de course.

La seconde étude s'intéressant aux blessures est l'étude de **2020 Camila, Ciara et al.** Dans cette étude les participants avaient un **taux d'effort** perçu identique au 1<sup>er</sup> km pour chaussé/pieds nus alors qu'au 3<sup>ème</sup> et 5<sup>ème</sup> km il était plus élevé pour la condition pieds nus. Dans cette condition, les coureurs ont ressenti des douleurs musculaires d'apparition retardée (DOMS) 48h après la séance. Celles-ci découlent des modifications dans le modèle de frappe du pied avec une augmentation de la flexion plantaire ainsi que de la hanche et du genou et une plus grande sollicitation du triceps sural.

## 6.2 Hypothèses

Selon ma **première hypothèse** la course à pied, pieds nus engendre des modifications d'un point de vue cinétique et cinématique avec l'idée de rendre une CAP moins contraignante sur la globalité du corps.

Cependant à travers l'analyse des résultats on observe que l'ensemble des changements sont peu significatifs avec :

- une antériorisation de la frappe du pied.
- une légère augmentation de la cadence de foulée et une diminution de la longueur de la foulée.
- une augmentation de flexion (genou, hanche) et une augmentation de la flexion plantaire de cheville.
- une diminution du temps de contact au sol et de vol.

Ainsi que des changements peu significatifs sur la cinétique avec :

- Selon les études une augmentation ou une diminution du taux de charge et du pic d'impact.

Ces résultats sont en partie en accord avec mon hypothèse émise en amont, on retrouve bien une diminution sur la charge du corps lors de la course pieds nus. Toutefois il faut garder à l'esprit que ces changements sont dans l'ensemble peu significatif voire même dans certaines études dans le sens contraire à ce que l'on peut espérer (**2019 ; 2014 (Bonacci, Jason et al.)**). On retrouve une augmentation des forces sur le système musculo-squelettique pour ces études. Cette hausse des forces sur le corps peut être due à une course taligrade pieds nus qui augmente le taux de charge du à l'absence de la chaussure pour amortir les chocs.

De surcroît toutes ces modifications ont été observées lors d'une transition brutale du mode de course sauf dans l'étude de 2019.

Ainsi il faut prendre des précautions lors du passage d'une méthode de course à l'autre. Faire une transition sur plusieurs semaines serait plus appropriée. Et il serait intéressant de continuer à faire des recherches pour affiner les connaissances sur les changements prodigués par ce pattern de course.

Ma **seconde hypothèse** est que la CAP, pieds nus diminue l'apparition de blessures dues à la course. Les résultats montrent que la CAP pieds nus pourrait avoir une influence sur la diminution du stress de l'articulation femoro patellaire, ainsi qu'une diminution de l'activation du quadriceps. En revanche on rencontre une augmentation de la sollicitations du Triceps Sural et une augmentation du taux d'effort perçu par le coureur. On remarque également une augmentation de la flexion plantaire et donc un contact initial au sol plus antériorisé, source de potentielles blessures des métatarses. Toutefois, on ne peut pas réellement confirmer si cette méthode de course prévient des blessures à la vue du peu de données recueillies à travers les études.

### 6.3 Comparaison de la Revue de Jonathan PL, Hall et al (2013)

On constate que dix ans après et avec des études postérieures à 2013[35] (de 2014 à 2020), les résultats biomécaniques concernant la CAP pieds nus contre la CAP chaussée, n'ont pas véritablement progressé. Les études actuelles sont toujours de qualité méthodologique modérée, et ce malgré la présence d'ECR compris dans mes études. On ne peut toujours pas affirmer avec certitude qu'il y ait un réel avantage à courir pieds nus, les preuves scientifiques ont du mal à émerger.

Au point de vue cinématique, dans la revue de 2013, la cadence de foulée était plus élevée (niveau de preuves limité), on retrouvait aussi une augmentation de la flexion plantaire de la cheville ainsi qu'une augmentation de la flexion du genou au contact du sol, mais cela de manière modérée.

Il en ressort aussi une réduction de flexion maximale du genou, de même niveau de preuve que la cadence de foulée.

L'indice de frappe du pieds était plus généralisé pour la partie avant-pied (58%) que arrière pied (40%) selon les auteurs, mais avec un niveau de preuve très limité.

Tous ces paramètres sont similaires à l'analyse de mes études.

En ce qui concerne la cinétique, cette revue a également révélé des preuves modérées voire limitées pour les FRS, le taux de charge et le Pic d'Impact et n'a pas pu vraiment établir que ces différents éléments étaient réduits lors de la CAP, pieds nus. Il en est de même pour mes études de 2016 (Tam, Nicholas et al) et 2019 qui ont été analysées, et où on retrouve un taux de charge élevé dû à une habitude pieds nus.

Des preuves très limitées indiquent également que l'absorption de puissance au genou est diminuée tout en étant augmentée au niveau de la cheville.

D'après cette revue de 2013, la décharge probable du genou peut être favorable pour diminuer la douleur fémoro-patellaire mais peut induire par contre des blessures au pied ou à la cheville.

### 6.4 Biais des études

Des échantillons de petites tailles dans chacune des études augmentent le risque ne pas percevoir de résultats représentatifs de la population globale des coureurs à pied. C'est donc une limite dans le cadre de l'analyse des résultats.

Pour le choix de la population on retrouve des différences importantes. Dans 3 essais seulement des hommes sont retenus tandis que dans les 3 autres, les échantillons sont mixtes. Ainsi le sexe peut être un paramètre non négligeable constituant peut être une limite.

Le niveau des coureurs peut également représenter un biais. On retrouve des coureurs novices, récréatifs, athlètes et compétiteurs. Le niveau de pratique peut avoir une influence majeure au niveau de la biomécanique de la course. Ainsi cela peut occasionner une limite dans l'analyse des résultats et doit être intégré dans notre prise en charge kinésithérapique.

Un autre biais peut être l'âge pris en compte dans les études. Les populations de celles-ci sont comparables entre elles. Mais, tous les participants sont relativement jeunes et donc ces essais ne reflètent pas l'ensemble des populations de coureurs. **(Biais de sélection)**

La vie de chaque participant est malgré tout hétérogène. En effet, on retrouve des différences de conditions dans les catégories socio-professionnelles (étudiants, employés) ce qui remet en question la maîtrise des résultats. **(Biais de recrutement)**

D'un point de vue de l'intervention des études on retrouve plusieurs biais comme la durée des différents essais. Certaines études (Tam, Nicholas et al. 2016 ; Thompson, M et al. 2016 ; Bonacci, Jason et al. 2014. ; McCallion, Ciara et al. 2014. et Da Silva, Camila C et al. 2020) réalisent leurs essais sur un jour défini, tandis que d'autres sur plusieurs semaines (2019). Ce qui peut être une limite dans l'analyse des résultats. On ne peut pas les interpréter ensemble. En revanche, cela permet d'identifier les modifications à un moment aigu et à une adaptations sur plusieurs semaines. **(Biais de mesure)**

Certaines études laissent le choix au coureur de courir à une vitesse auto sélectionné pour les différentes conditions de courses. Tandis que d'autres auteurs fixent une vitesse. Cependant on sait que la vitesse a une influence sur les caractéristiques de la foulée ce qui rend les résultats difficilement analysables entre eux.

On retrouve également un critère d'inclusion dans de nombreuses études d'une pratique moyenne de course de 35km par semaine. Ce qui ne représente pas la majorité de la population des coureurs.

Le revêtement du sol utilisé dans les études constitue une limite. Toutes les mesures ne sont pas effectuées dans les mêmes conditions. Certaines études utilisent des tapis roulants avec plateformes de forces, d'autre des pistes synthétiques intérieures. **(Biais de mesure)**

Il existe d'autre biais comme une différence de standardisation des moyens utilisés pour analyser la biomécanique de la CAP. Les mesures sont prises à l'aide de caméras différentes et de marqueurs réfléchissants posés aux niveaux des articulations, ce qui peut induire des disparités suivant l'endroit où est placé le marqueur et la manière dont il est posé. Certaines études réalisent leurs expertises en 2Dimensions tandis que d'autres le font en 3D. **(Biais de mesure)**

Dans cinq études l'exposition ne s'est pas faite en aveugle, il n'y a que dans l'étude de 2019, d'Hollander où les examinateurs étaient en aveugle pour l'analyse des résultats. Il était difficile pour les coureurs d'être en aveugle puisqu'une fois ils couraient chaussés, puis déchaussés donc ils connaissaient la condition de l'étude. **(Biais d'évaluation)**

D'autre part, la fatigue peut avoir une incidence sur les performances des coureurs. Plusieurs études effectuent leurs essais sur une même journée.

De surcroît, l'attention est différente lorsqu'on court sur un tapis roulant plutôt qu'en extérieur. En effet on rencontre des variations de terrain qui peuvent être à l'origine de changements de stratégie au niveau de l'atterrissage.

Concernant ce travail de recherche, la pertinence des résultats scientifiques a été altéré par un ECNR qui posent une limite au cadre d'étude de l'article.

De plus dans ces études la mise en aveugle des participants et des thérapeutes n'est pas toujours possible ce qui peut provoquer une surestimation de l'effet dans l'intervention de celles-ci.

## 6.5 Applicabilité des résultats

Plusieurs éléments sont à prendre en considération lorsqu'on veut transposer les résultats à la pratique clinique :

- Les tailles d'effets sont-elles suffisamment significatives pour attester de la légitimité de ces techniques sur le plan clinique ?
- L'importance des échantillons des différentes études est-elle assez appréciable pour généraliser les résultats à l'ensemble de la population de coureurs ?
- Le rapport bénéfices/risques est-il équilibré dans ces différentes interventions ?
- Le rapport coût/efficacité est-il intéressant ?

### 1- Taille d'effet

Sur les six études incluses dans la revue, deux nous ont donné l'IC (**2020 ; 2014 Bonnacci, Jason et al.**), trois nous ont fourni la moyenne et l'écart type afin de le calculer (**2019, 2016 thompson, M et al. ; 2016 Tam, Nicholas et al.**) et pour la dernière de **2014 (McCallion, Ciara et al.)** la moyenne et l'écart type n'étaient pas présent pour tous les critères de jugements ce qui ne nous a pas permis de déterminer l'IC.

Concernant les calculs effectués on constate que les tailles d'effet ne sont pas significatives autant dans le domaine statistique que clinique. Les estimations approximatives nous incitent à constater une carence de réels bénéfices sur les critères de jugements principaux.

### 2- Taille d'échantillon

Dans cette revue, la taille de l'échantillon étudié reste relativement faible pour être certain de la véracité des résultats et de les transposer à l'ensemble de la population.

Une taille d'échantillon minime et des IC larges nous mettent face à une limite dans la translation des résultats des auteurs à l'ensemble des participants à la CAP.

En effet plus l'échantillon est important plus les résultats seront fiables et représentatifs de la population.

### 3- Coûts/efficacités

Les différents instruments utilisés dans les études sont difficilement envisageables dans un cabinet libéral. Les raisons sont en premier lieu, le coût. Il faut utiliser plusieurs dispositifs qui sont long à mettre en place et demande un budget assez conséquent pour une efficacité du mode de course pieds nus à l'heure actuelle peu significative.

En deuxième lieu, il faut prendre en considération que cela nécessite une formation et d'avoir des compétences sur l'utilisation des logiciels.

Ces évaluations se font plus en laboratoire avec du matériel sophistiqué que l'on ne peut pas retrouver dans un cabinet libéral.

Toutefois le kinésithérapeute peut adapter cette pratique.

En effet la majorité des cabinets possèdent un tapis de course qui permet de gérer l'inclinaison et la vitesse. Le thérapeute peut filmer avec son téléphone pour évaluer par la suite le schéma adopté par le coureur et corriger si besoin.

#### 4- Bénéfices/risques

Le kinésithérapeute peut utiliser cette méthode de course car aucun effet véritablement néfaste n'a été mis en avant. Il faut cependant que la séance s'effectue dans l'encadrement du professionnel de santé. En revanche, on ne peut pas affirmer que la course pieds nus ait un impact dans la prévention primaire.

Toutefois, cela reste un entraînement intéressant pour les coureurs qui viennent au cabinet pour une réathlétisation et cette revue permet de conseiller sur la pertinence de la chaussure ou non.

### 6.6 Qualité des preuves des études, biais potentiels et limites de la revue

« D'après la HAS, la capacité d'une étude à répondre à la question posée est jugée sur la correspondance de l'étude au cadre du travail (question, population, critères de jugement) et sur les caractéristiques suivantes :

- L'adéquation du protocole d'étude à la question posée ;
- L'existence ou non de biais importants dans la réalisation ;
- L'adaptation de l'analyse statistique aux objectifs de l'étude ;
- La puissance de l'étude et en particulier la taille de l'échantillon. »<sup>10</sup>

#### 6.6.1 Niveau de preuve et Grade de recommandation de la HAS

Niveau de preuve	Description
Fort	- le protocole est adapté pour répondre au mieux à la question posée ; - la réalisation est effectuée sans biais majeur ; - l'analyse statistique est adaptée aux objectifs ; - la puissance est suffisante.
Intermédiaire	- le protocole est adapté pour répondre au mieux à la question posée ; - puissance nettement insuffisante (effectif insuffisant ou puissance a posteriori insuffisante) ; - et/ou des anomalies mineures.
Faible	Autres types d'études

Tableau 8 : Classification générale du niveau de preuve d'une étude<sup>11</sup>

La problématique de cette revue de littérature est d'ordre thérapeutique dont le but est d'évaluer les différences entre la condition chaussée et la condition pieds nus lors de la course à pied. Pour répondre à cette question, c'est l'ECR qui est le plus adéquat car il possède un niveau de preuves scientifiques élevées.

Dans mes études sélectionnées, on retrouve des ECR mais également un ECNR. De plus les scores de celles-ci vont de 5/10 à 7/10 à l'échelle PEDro, ce qui expriment des biais dans les essais.

<sup>10</sup> [https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2013-06/etat\\_des\\_lieux\\_niveau\\_preuve\\_gradation.pdf](https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2013-06/etat_des_lieux_niveau_preuve_gradation.pdf)

<sup>11</sup> [https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2013-06/etat\\_des\\_lieux\\_niveau\\_preuve\\_gradation.pdf](https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2013-06/etat_des_lieux_niveau_preuve_gradation.pdf)

Les résultats des études sont dans la majorité de faible puissance et peu, voire pas significatifs. On retrouve également des anomalies tels que dans l'étude de 2020 où le schéma est en contradiction avec la partie résultat effectuée par les chercheurs.

En revanche toutes les études répondent aux critères de jugements posés en amont

Ainsi le niveau de preuves de mes six études est de niveau intermédiaire.

Afin d'apprécier le niveau de preuves scientifiques fourni par la littérature, on utilise le tableau de grade des recommandations de la HAS ci-dessous.

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

Tableau 9 : Grade des recommandations<sup>12</sup>

Lorsqu'on se base sur ces grades de recommandations, ma revue semble s'accorder avec **un grade B** de ce tableau.

### 6.6.2 Biais de la Revue

Le premier Biais d'une revue de littérature est son auteur. Malgré le fait de vouloir être le plus objectif possible, l'auteur inconsciemment laisse apparaître son opinion.

Lors de la sélection d'articles, de l'extraction et de l'analyse des études, le rédacteur conserve les éléments qui lui semble pertinents, ce qui peut différer d'une personne à une autre. C'est le **biais cognitif**.

Le deuxième Biais que l'on peut retrouver est le **biais de confirmation**. Il est très certainement possible que dans ma revue, j'ai sélectionné et éliminé des articles allant dans le sens de ma propre perception de la réponse clinique, et ce de manière involontaire.

<sup>12</sup>[https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2013-06/etat\\_des\\_lieux\\_niveau\\_preuve\\_gradation.pdf](https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2013-06/etat_des_lieux_niveau_preuve_gradation.pdf)

Pour éviter ou du moins minimiser les effets de ce biais, il aurait été plus pertinent d'engager aux moins deux lecteurs pour la sélection et l'analyse des articles, plus une troisième personne qui permet d'intervenir lors de potentiels désaccords.

Pour évaluer les biais possibles d'une revue de littérature plusieurs outils sont mis à disposition telle que la grille AMSTAR-2. Elle comprend 16 items qui évaluent la qualité méthodologique d'une revue systématique. Ainsi la présente revue a donc été soumise à cette grille.

Items de la grille AMSTAR-2	Réponses	Justifications
1- Est-ce que les questions de recherche et les critères d'inclusion de la revue ont inclus les critères PICO ?	OUI	Mon équation de recherche s'est faite à partir de mon PICO (3.3.2 Equations de recherche)
2- Est-ce que le rapport de la revue contenait une déclaration explicite indiquant que la méthode de la revue a été établie avant de conduire la revue ? Est-ce que le rapport justifiait toute déviation significative par rapport au protocole ?	OUI	- Toute la méthode a été conduite avant de réaliser la revue (Partie méthode).  - Les déviations ont été signalées (Partie Biais de la Revue)
3- Les auteurs ont-ils expliqué leur choix de schémas d'étude à inclure dans la revue ?	OUI	Schéma d'étude Thérapeutique préventif (Articles à intégrer → ECR)
4- Les auteurs ont-ils utilisé une stratégie de recherche documentaire exhaustive ?	OUI	Plusieurs bases de données (PubMed, Cochrane, PEDro, littérature grise)
5- Les auteurs ont-ils effectué en double la sélection des études ?	NON	Un seul auteur a réalisé la revue
6- Les auteurs ont-ils effectuée en double l'extraction des données ?	NON	Identique à l'item 5
7- Les auteurs ont-ils fourni une liste des études exclues et justifié les exclusions ?	OUI	Dans la partie 4.1 Résultats Ainsi qu'en Annexe
8- Les auteurs ont-ils décrit les études incluses de manière suffisamment détaillée ?	OUI	Tableau récapitulatif de chaque étude en Annexe
9- Les auteurs ont-ils utilisé une technique satisfaisante pour évaluer le risque de biais des études individuelles incluses dans la revue ?	OUI	L'évaluation des biais s'est effectuée à travers l'échelle PEDro et NOS
10- Les auteurs ont-ils indiqué les sources de financement des études incluses dans la revue ?	NON	Aucune source de financement n'a été perçue par l'auteur
11- Si une méta-analyse a été effectuée, les auteurs ont-ils utilisé des méthodes appropriées pour la combinaison statistique des résultats ?	x	
12- Si une méta-analyse a été effectuée, les auteurs ont-ils évalué l'impact potentiel des risques de biais des études individuelles sur les résultats de la méta-analyse ou d'une autre synthèse des preuves ?	x	
13- Les auteurs ont-ils pris en compte le risque de biais des études individuelles lors de l'interprétation / de la discussion des résultats de la revue ?	OUI	Partie 6 Discussion ; 6.1 Analyse des résultats
14- Les auteurs ont-ils fourni une explication satisfaisante pour toute hétérogénéité observée dans les résultats de la revue, et une discussion sur celle-ci ?	OUI	Partie 6 Discussion
15- S'ils ont réalisé une synthèse quantitative, les auteurs ont-ils mené une évaluation adéquate des biais de publication (biais de petite étude) et ont discuté de son impact probable sur les résultats de la revue ?	x	
16- Les auteurs ont-ils rapporté toute source potentielle de conflit d'intérêts, y compris tout financement reçu pour réaliser la revue ?	NON	Aucun conflit d'intérêt en raison d'un mémoire de fin d'étude

Tableau 10 : Récapitulatif de la grille AMSTAR-2

### 6.6.3 Limite de la Revue

La sélection des études a été une limite à l'élaboration de la revue. Regrouper des essais contrôlés de bonne qualité n'a pas été évident du fait que peu d'études répondent à la problématique. La course à pied, pieds nus étant un mode de course en pleins essor, à l'avenir, il sera peut-être possible de retrouver d'avantages d'études sur les différentes bases de données.

Il y a également peu d'études qui correspondent à mon critère de jugement secondaire en raison du manque de données actuelles dans la littérature.

La traduction et la compréhension des études publiées en anglais ont aussi pu contribuer à générer des erreurs dans mon travail.

La différence de standardisation des protocoles des essais complexifie la mise en parallèle des différentes études réduisant ainsi la possibilité de conclure sur l'intérêt de la course non chaussée.

Seulement l'aspect biomécanique a été étudiée. L'aspect prévention des blessures pour la course à pied pieds nus n'a été qu'entrevue et il aurait pu être intéressant de développer l'aspect proprioceptif/sensitif.

Un échantillon plus important et plus ciblé aurait été plus pertinent et aurait donné une vision plus globale de la réalité.

De plus les résultats des coureurs novices, ne sont pas transposables aux coureurs compétiteurs. Trois études sont mixtes ce qui peut modifier les résultats.

Les études choisies ont été réalisées dans différents pays avec des populations variées ce qui peut interférer au niveau des résultats.

L'emploi ou non de chaussures standardisées risque de limiter la comparaison avec la CAP, pieds nus. Certains participants ont pu utiliser leurs chaussures personnelles alors que dans d'autres études le type de chaussure est imposé.

Dans les études, on ne sait pas si les coureurs ont des antécédents de pathologies ou des malformations aux pieds. Il faut donc considérer les résultats avec précaution.

Toutes les études ont été exécutées sur piste ou tapis de course sans aucun dénivelé, ce qui n'est pas réellement représentatif d'une course en extérieur avec un terrain instable, des obstacles et du dénivelé.

S'essayer à la rédaction d'une revue de littérature peut comporter quelques risques de confusions et d'imprécisions dus au manque de pratique. En outre la notion de la course a été abordée lors de mon cursus mais pas étudiée dans les détails. Ce qui m'a demandé d'approfondir le thème pour étoffer mes connaissances. Mais cela a pu générer un frein dans mon interprétation des résultats relatifs à la biomécanique.

Après avoir regrouper les différents résultats de chaque étude, on remarque qu'il y a quelques limites dans les études qui ne permettront pas de procéder à une analyse quantitative des résultats de la revue (méta-analyse). Effectivement de nombreux paramètres peuvent influencer sur le schéma traditionnel du coureur : le choix du matériel et de l'environnement, la durée des interventions, les différences dans les protocoles d'interventions ainsi que dans la méthode.

La stratégie de course habituelle du sportif varie avec sa vitesse. Des études ont laissé le choix aux participants de courir à une vitesse auto sélectionnée tandis que d'autres ont imposé leur vitesse. Par ailleurs l'ensemble des études n'a pas une vitesse de course similaire ce qui engendre des différences au niveau des paramètres cinétiques, cinématiques et spatio-temporels de la course dans l'analyse de ces derniers.

## 7 Conclusion

L'objet de cette revue de littérature était d'évaluer si la biomécanique des coureurs pieds nus se modifiait lors des séances et si cela pouvait à long terme prévenir l'apparition des blessures liées à la CAP.

En effet selon Rothshild, [7] au moins 75,7% des coureurs sont intéressés par cette technique de course. Donc dans les années à venir, de plus en plus de participants pourraient être tentés par cette condition. Et en tant que futur kinésithérapeute, mon rôle est de conseiller mes futurs patients, que ce soit en prévention primaire lorsqu'ils émettent le souhait de s'essayer à ce type de course ou bien en prévention secondaire suite à une blessure afin qu'ils puissent modifier leurs techniques de course avec une attaque avant-pied/ digitigrade quand ils ont principalement une attaque taligrade.

En effet la rééducation d'un patient consiste à le prendre en charge dans sa globalité et à adapter au mieux nos connaissances à ses besoins. Mais aussi de le sensibiliser à d'autres techniques de course si cela est nécessaire.

De lui présenter les avantages et les inconvénients de la CAP pieds nus, car courir pieds nus s'apprend. Nous avons l'habitude de porter des chaussures depuis notre enfance, de courir avec et notre biomécanique de course s'est établie en fonction de ces chaussures. D'où la difficulté pour s'en désaccoutumer. Cela ne peut se faire que progressivement. Et cette transition peut s'accomplir en partie avec l'aide d'un thérapeute. Elle peut se faire en cabinet avec un tapis de course ou le kinésithérapeute peut surveiller, éventuellement corriger et conseiller le coureur. D'autant plus que la CAP pieds nu peut être préjudiciable sur les membres inférieurs.

La balance de résultat de ces études ne fait pas ressortir un avantage majeur, chacune démontrant au cas par cas un intérêt ou une lacune. Sachant qu'il y a d'un côté peu d'effet observé entre les groupes et d'un autre côté de nombreuses limites dues à la divergence des études.

En vue de prétendre à plus d'efficacité de la CAP pieds nus sur la CAP chaussée, il serait bénéfique que dans le futur des études soient réalisées avec des échantillons plus larges et avec une qualité méthodologique supérieure. Car jusqu'à présent la littérature existante est pauvre en étude sur cette condition de course. Et il n'y a pas de résultat vraiment probant (taille d'effet qui n'est pas cliniquement important) qui puisse nous inciter à adopter ce mode de course.

D'autre part, on parle souvent de la prévention des blessures liées à la course mais jusqu'à présent peu d'études s'y sont intéressées. Celles qui ont abordé le sujet, ont mis en lien la CAP pieds nus avec la biomécanique mais peu ont évoqué tout ce qui concernait : la sensibilité plantaire, l'amélioration de la proprioception, le renforcement de la structure du pied et de la cheville.

Il serait donc souhaitable de faire des études dans des conditions plus proches du réel mais aussi de s'intéresser davantage à tout ce qui étudie également la prévention secondaire. C'est-à-dire des études qui mesurent le bénéfice apporté par la course pieds nus sur des personnes blessées.

## 8 Bibliographie

- [1] Almeida MO, Davis IS, Lopes AD. Biomechanical Differences of Foot-Strike Patterns During Running: A Systematic Review With Meta-analysis. *J Orthop Sports Phys Ther* 2015;45:738–55. <https://doi.org/10.2519/JOSPT.2015.6019>.
- [2] Markoti V, Pokrajci V, Babi M, Radanevi D, Grle M, Miljko M, et al. THE POSITIVE EFFECTS OF RUNNING ON MENTAL HEALTH. *Psychiatr Danub* 2020;32:233–5.
- [3] Poczta J, Malchrowicz-Moško E. Running as a Form of Therapy Socio-Psychological Functions of Mass Running Events for Men and Women. *Int J Environ Res Public Health* 2018;15. <https://doi.org/10.3390/IJERPH15102262>.
- [4] Pereira HV, Palmeira AL, Encantado J, Marques MM, Santos I, Carraça EV, et al. Systematic Review of Psychological and Behavioral Correlates of Recreational Running. *Front Psychol* 2021;12:624783. <https://doi.org/10.3389/FPSYG.2021.624783/FULL>.
- [5] Lieberman DE. What we can learn about running from barefoot running: An evolutionary medical perspective. *Exerc Sport Sci Rev* 2012;40:63–72. <https://doi.org/10.1097/JES.0B013E31824AB210>.
- [6] Lieberman DE, Venkadesan M, Werbel WA, Daoud AI, Dandrea S, Davis IS, et al. Foot strike patterns and collision forces in habitually barefoot versus shod runners. *Nature* 2010;463:531–5. <https://doi.org/10.1038/nature08723>.
- [7] Rothschild CE. Primitive running: A survey analysis of runners' interest, participation, and implementation. *J Strength Cond Res* 2012;26:2021–6. <https://doi.org/10.1519/JSC.0B013E31823A3C54>.
- [8] Willy RW, Davis IS. Kinematic and kinetic comparison of running in standard and minimalist shoes. *Med Sci Sports Exerc* 2014;46:318–23. <https://doi.org/10.1249/MSS.0B013E3182A595D2>.
- [9] Bonacci J, Saunders PU, Hicks A, Rantalainen T, Vicenzino BT, Spratford W. Running in a minimalist and lightweight shoe is not the same as running barefoot: a biomechanical study. *Br J Sports Med* 2013;47:387–92. <https://doi.org/10.1136/BJSPORTS-2012-091837>.
- [10] Wang IL, Graham RB, Bourdon EJP, Chen YM, Gu CY, Wang LI. Biomechanical Analysis of Running Foot Strike in Shoes of Different Mass. *J Sports Sci Med* 2020;19:130.
- [11] Nigg BM, Wakeling JM. Impact forces and muscle tuning: a new paradigm. *Exerc Sport Sci Rev* 2001;29:37–41. <https://doi.org/10.1097/00003677-200101000-00008>.
- [12] Hasegawa H, Yamauchi T, Kraemer WJ. Foot strike patterns of runners at the 15-km point during an elite-level half marathon. *J Strength Cond Res* 2007;21:888–93. <https://doi.org/10.1519/R-22096.1>.
- [13] Daoud AI, Geissler GJ, Wang F, Saretsky J, Daoud YA, Lieberman DE. Foot strike and injury rates in endurance runners: a retrospective study. *Med Sci Sports Exerc* 2012;44:1325–34. <https://doi.org/10.1249/MSS.0B013E3182465115>.
- [14] Van Gent RN, Siem D, Van Middelkoop M, Van Os AG, Bierma-Zeinstra SMA, Koes BW. Incidence and determinants of lower extremity running injuries in long distance runners: a systematic review. *Br J Sports Med* 2007;41:469–80. <https://doi.org/10.1136/BJSM.2006.033548>.
- [15] Kakouris N, Yener N, Fong DTP. A systematic review of running-related musculoskeletal injuries in runners. *J Sport Heal Sci* 2021;10:513–22. <https://doi.org/10.1016/J.JSHS.2021.04.001>.
- [16] Francis P, Whatman C, Sheerin K, Hume P, Johnson MI. The Proportion of Lower Limb Running Injuries by Gender, Anatomical Location and Specific Pathology: A Systematic Review. *J Sports Sci Med* 2019;18:21.
- [17] Green S-T. Syndrome fémoropatellaire : prise en charge clinique. *EMC - Kinésithérapie* 2005;1:101–11. <https://doi.org/10.1016/J.EMCKNS.2005.04.001>.
- [18] Hudgins TH, Verma A, Kupperman W, Alleva JT. Patellofemoral Syndrome. *Essentials Phys Med Rehabil Musculoskelet Disord Pain, Rehabil* 2022;414–8. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-54947-9.00074-2>.

- [19] Weber J, Buchhorn T. [Midportion Achilles tendinopathy]. *Unfallchirurg* 2017;120:1038–43. <https://doi.org/10.1007/S00113-017-0411-5>.
- [20] Baumbach SF, Braunstein M, Mack MG, Maßen F, Böcker W, Polzer S, et al. [Insertional Achilles tendinopathy: Differentiated diagnostics and therapy]. *Unfallchirurg* 2017;120:1044–53. <https://doi.org/10.1007/S00113-017-0415-1>.
- [21] Moen MH, Tol JL, Weir A, Steunebrink M, Winter TCD. Medial tibial stress syndrome: a critical review. *Sports Med* 2009;39:523–46. <https://doi.org/10.2165/00007256-200939070-00002>.
- [22] Cutts S, Obi N, Pasapula C, Chan W. Plantar fasciitis. *Ann R Coll Surg Engl* 2012;94:539–42. <https://doi.org/10.1308/003588412X13171221592456>.
- [23] GOFF JD, CRAWFORD R. Diagnosis and Treatment of Plantar Fasciitis. *Am Fam Physician* 2011;84:676–82.
- [24] Jiménez Díaz F, Gitto S, Sconfienza LM, Draghi F. Ultrasound of iliotibial band syndrome. *J Ultrasound* 2020;23:379. <https://doi.org/10.1007/S40477-020-00478-3>.
- [25] Strauss EJ, Kim S, Calcei JG, Park D. Iliotibial band syndrome: evaluation and management. *J Am Acad Orthop Surg* 2011;19:728–36. <https://doi.org/10.5435/00124635-201112000-00003>.
- [26] Daoud AI, Geissler GJ, Wang F, Saretsky J, Daoud YA, Lieberman DE. Foot strike and injury rates in endurance runners: A retrospective study. *Med Sci Sports Exerc* 2012;44:1325–34. <https://doi.org/10.1249/MSS.0B013E3182465115>.
- [27] Zadpoor AA, Nikooyan AA. The relationship between lower-extremity stress fractures and the ground reaction force: a systematic review. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2011;26:23–8. <https://doi.org/10.1016/J.CLINBIOMECH.2010.08.005>.
- [28] Fields KB, Sykes JC, Walker KM, Jackson JC. Prevention of running injuries. *Curr Sports Med Rep* 2010;9:176–82. <https://doi.org/10.1249/JSR.0B013E3181DE7EC5>.
- [29] da Silva CC, Machado AS, dos Santos GR, Schmidt HL, Kunzler MR, Carpes FP. Acute responses to barefoot 5 km treadmill running involve changes in landing kinematics and delayed onset muscle soreness. *Gait Posture* 2020;77:231–5. <https://doi.org/10.1016/J.GAITPOST.2020.02.004>.
- [30] Hollander K, Liebl D, Meining S, Mattes K, Willwacher S, Zech A. Adaptation of Running Biomechanics to Repeated Barefoot Running: A Randomized Controlled Study. *Am J Sports Med* 2019;47:1975–83. <https://doi.org/10.1177/0363546519849920>.
- [31] Tam N, Astephen Wilson JL, Coetzee DR, van Pletzen L, Tucker R. Loading rate increases during barefoot running in habitually shod runners: Individual responses to an unfamiliar condition. *Gait Posture* 2016;46:47–52. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.02.013>.
- [32] Thompson M, Seegmiller J, McGowan CP. Impact Accelerations of Barefoot and Shod Running. *Int J Sports Med* 2016;37:364–8. <https://doi.org/10.1055/S-0035-1569344>.
- [33] Bonacci J, Vicenzino B, Spratford W, Collins P. Take your shoes off to reduce patellofemoral joint stress during running. *Br J Sports Med* 2014;48:425–8. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092160>.
- [34] McCallion C, Donne B, Fleming N, Blanksby B. Acute differences in foot strike and spatiotemporal variables for shod, barefoot or minimalist male runners. *J Sports Sci Med* 2014;13:280–6.
- [35] Hall JPL, Barton C, Jones PR, Morrissey D. The biomechanical differences between barefoot and shod distance running: a systematic review and preliminary meta-analysis. *Sports Med* 2013;43:1335–53. <https://doi.org/10.1007/S40279-013-0084-3>.

## 9 Annexes

### **Liste des Annexes :**

**Annexe 1** : La science du running « Pr. Chris Napier – Marabout »

**Annexe 2** : les fondamentaux de l'athlétisme « Gérard Goriot – Vigot Editions Paris »

**Annexe 3** : Biomécanique de la course : la marche humaine, la course et le saut, biomécanique, explorations, normes et dysfonctionnements. « Viel – Masson Paris »

**Annexe 4** : Biomécanique du Sport et de l'exercice « Paul Grimshaw et Burden, A »

**Annexe 5** : Locomotion humaine : marche, course « A.DelaFontaine - Elsevier Masson »

**Annexe 6** : Echelle PEDro – Français

**Annexe 7** : Traduction française de la Newcastle-Ottawa-Scale

**Annexe 8** : Tableau récapitulatif de l'échelle PEDro des articles non retenus

**Annexe 9** : Tableau récapitulatif de l'échelle NOS (Cohorte + transversale) des articles non retenus

**Annexe 10** : Tableaux d'extractions des études

**Annexe 11** : Description des populations

**Annexe 12** : Description des interventions

**Annexe 13** : Description des programmes d'entraînements

**Annexe 14** : Description des critères de Jugements

## Annexe 6 : Echelle PEDro – Français

### Échelle PEDro – Français

---

1. les critères d'éligibilité ont été précisés	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	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 <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
3. la répartition a respecté une assignation secrète	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
4. les groupes étaient similaires au début de l'étude au regard des indicateurs pronostiques les plus importants	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
5. tous les sujets étaient "en aveugle"	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
6. tous les thérapeutes ayant administré le traitement étaient "en aveugle"	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
7. tous les examinateurs étaient "en aveugle" pour au moins un des critères de jugement essentiels	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	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 <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	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 <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
10. les résultats des comparaisons statistiques intergroupes sont indiqués pour au moins un des critères de jugement essentiels	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	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 <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:

---

## Annexe 7 : Traduction française de la Newcastle-Ottawa-Scale

**Tableau I. Traduction française de la Newcastle-Ottawa Scale.**

Catégories d'items	Items	Cotation
Sélection (maximum 4 étoiles)	Représentativité des sujets exposés (maximum 1 étoile)	(1 étoile) Vraiment représentatif de la population cible en moyenne dans la communauté (1 étoile) Un peu représentatif de la population cible en moyenne dans la communauté (0 étoile) Groupe d'utilisateurs sélectionné (infirmiers, volontaires, etc.) (0 étoile) Pas de description de la constitution de la cohorte
	Sélection des sujets non exposés (maximum 1 étoile)	(1 étoile) Issus de la même communauté que les sujets exposés (0 étoile) Issus d'une source différente (0 étoile) Pas de description de la constitution des groupes des sujets non exposés
	Détermination de l'exposition (maximum 1 étoile)	(1 étoile) Dossier fiable (comme les dossiers chirurgicaux) (1 étoile) Entretien structuré (0 étoile) Auto-déclaration écrite (0 étoile) Pas de description
	Démonstration que le critère de jugement d'intérêt était absent au début de l'étude (maximum 1 étoile)	(1 étoile) Oui (0 étoile) Non
Comparabilité (maximum 2 étoiles)	Comparabilité des sujets exposés et non exposés sur la base du schéma d'étude ou de l'analyse	(1 étoile) L'étude contrôle le facteur le plus important (1 étoile) L'étude contrôle tout facteur supplémentaire (ce critère pourrait être modifié pour indiquer un contrôle spécifique d'un deuxième facteur important)
Critère de jugement (maximum 3 étoiles)	Évaluation du critère de jugement (maximum 1 étoile)	(1 étoile) Évaluation indépendante en aveugle (1 étoile) Chainage des données (0 étoile) Auto-évaluation/déclaration (0 étoile) Pas de description
	Le suivi a-t-il été suffisamment long pour que le critère de jugement se produise ? (maximum 1 étoile)	(1 étoile) Oui (choisir une période de suivi adéquate pour le critère d'intérêt) (0 étoile) Non
	Adéquation du suivi des sujets (maximum 1 étoile)	(1 étoile) Suivi complet – tous les sujets ont été suivis (1 étoile) Perdus de vue peu susceptibles d'introduire un biais (peu de perdus de vue, pourcentage de suivi adéquat (et préciser le taux jugé adéquat) ou description des perdus de vue fournis) (0 étoile) Taux de perdus de vue supérieur au taux adéquat et absence de description des perdus de vue (0 étoile) Aucune information rapportée

**Annexe 8** : Tableau récapitulatif de l'échelle PEDro des articles non retenus

	<b>Strauts, Janina et al. 2016</b>	<b>Hashish, Rami et al. 2016</b>	<b>Sinclair, Jonathan et al. 2016</b>	<b>Muñoz- Jimenez, M et al. 2015</b>
Les critères d'éligibilité ont été précisés.	✓	✓	✓	✓
Les sujets ont été répartis aléatoirement dans les groupes.	✗	✗	✓	✓
La répartition a respecté une assignation secrète.	✗	✗	✗	✗
Les groupes étaient similaires au début de l'étude au regard des indicateurs pronostiques les plus importants.	✓	✓	✓	✗
Tous les sujets étaient "en aveugle".	✗	✗	✗	✗
Tous les thérapeutes ayant administré le traitement étaient "en aveugle".	✗	✗	✗	✗
Tous les examinateurs étaient "en aveugle" pour au moins un des critères de jugement essentiels.	✗	✗	✗	✗
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.	✓	✓	✓	✓
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".	✓	✓	✗	✗
Les résultats des comparaisons statistiques intergroupes sont indiqués pour au moins un des critères de jugement essentiels.	✓	✓	✓	✓
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.	✗	✗	✗	✗
<b>Total :</b>	<b>4/10</b>	<b>4/10</b>	<b>4/10</b>	<b>3/10</b>

**Annexe 9 : Tableau récapitulatif de l'échelle NOS (Cohorte + transversale) des articles non retenus**

Etudes	Type d'étude	Sélection	Comparabilité	Critères de Jugement	Score
<b>McCarthy, Colm et al. 2015</b>	Cohorte	***	*		4/9
<b>Azevedo, Ana Paula da Silva et al. 2016</b>	Cohorte	**	*	*	4/9
<b>Kim, Hyun Kyung et al. 2021</b>	Transversale	*	*	**	4/9

**Annexe 10** : Tableaux d'extractions des études

Da Silva, Camila C et al. 2020	
Références Bibliographiques	da Silva CC, Machado AS, dos Santos GR, Schimidt HL, Kunzler MR, Carpes FP. Acute responses to barefoot 5 km treadmill running involve changes in landing kinematics and delayed onset muscle soreness. Gait Posture 2020;77:231–5. <a href="https://doi.org/10.1016/J.GAITPOST.2020.02.004">https://doi.org/10.1016/J.GAITPOST.2020.02.004</a> .
Méthode	Essai contrôlé randomisé (Cross Over)
Population	13 personnes (hommes) âgés de 20-35 ans  - <u>Critères d'inclusions</u> : Déjà avoir pratiqué la course sur tapis roulant. Pratiquer la CAP (environ 35km/semaine, 3jours/semaine depuis 3ans) Aucune expérience antérieure de CAP pied nu  - <u>Critères d'exclusions</u> : Blessure au cours de l'année Condition clinique susceptible d'affecter les performances (douleur musculaire sur les 6 derniers mois)
Groupes	Chaussé : avec leurs chaussures habituelles Pieds nu
Intervention	2 visites à 1 semaine d'intervalle (1 visite = 8minutes d'échauffement + 5km sur tapis) Avant et Après la course sur tapis → Evaluation de la sensibilité du pied ; pression plantaire. Evaluation de la douleur musculaire 48h après
Résultats	- Douleurs musculaires d'apparition retardées (DOMS) plus élevées pieds nus ; taux d'effort pieds nus augmenté - Hanche et genou plus étendus et une augmentation de la flexion plantaire (lors de la phase d'appui) pieds nus - Cadence plus élevée pieds nus
Score PEDro	6/10

**Hollander, Karsten et al. 2019**

Références Bibliographiques	Hollander K, Liebl D, Meining S, Mattes K, Willwacher S, Zech A. Adaptation of Running Biomechanics to Repeated Barefoot Running: A Randomized Controlled Study. Am J Sports Med 2019;47:1975–83. <a href="https://doi.org/10.1177/0363546519849920">https://doi.org/10.1177/0363546519849920</a> .
Méthode	Essai contrôlé randomisé prospective
Population	60 personnes (51,7% de femmes ; âge environ 25,4 ans et un IMC moyen de 22,6kg/m <sup>2</sup> )  - <u>Critères d'inclusions</u> : Bonne santé et physiquement actif (étudiants et employés d'une université) sans expérience dans un sport pieds nus ou peu chaussé  - <u>Critères d'exclusions</u> : Lésions musculosquelettiques 6 mois avant l'étude plus les maladies neuromusculaires
Groupes	Chaussé (Asics 17) Pieds nus Contrôle (Passif) dans leurs chaussures habituelles
Intervention	7 séances espacées d'une semaine Une session = 15 minutes de tapis roulant à 70% de vitesse VO2Max + 1tâche d'équilibre (30 secondes x 15 avec 1min de repos) Une évaluation pré et post test (pieds nus et chaussée à vitesse fixe 10Km/h deux essais de 30sec)
Résultats	A la fin des 8 semaines : - pieds nus : une augmentation de l'indice de frappe du pied ; augmentation du taux de charge vertical moyen lors de l'atterrissage ; diminution de la longueur de foulée et augmentation de la cadence et des angles articulaires en flexion (hanche, genou, cheville).
Score PEDro	7/10

**Tam, Nicholas et al. 2016**

Références Bibliographiques	Tam N, Astephen Wilson JL, Coetzee DR, van Pletsen L, Tucker R. Loading rate increases during barefoot running in habitually shod runners: Individual responses to an unfamiliar condition. Gait Posture 2016;46:47–52. <a href="https://doi.org/10.1016/J.GAITPOST.2016.02.013">https://doi.org/10.1016/J.GAITPOST.2016.02.013</a> .
Méthode	Essai contrôlé randomisé (Cross Over)
Population	51 coureurs Hommes  - <u>Critères d'inclusions</u> : Coureurs habituellement chaussés Capable de courir 10Km en 50min  - <u>Critères d'exclusions</u> : Blessures les 6 derniers mois
Groupes	Chaussé : leurs chaussures de courses toutes composées d'une semelle d'éthylène-acétate de vinyle Pieds nus
Intervention	6 essais sur piste de course intérieure synthétique de 40m dans chaque condition La vitesse est en fonction du rythme de course du participant sur ses derniers entraînements de 10km sur le mois
Résultats	Augmentation du taux de charge pieds nus Augmentation de la flexion plantaire pieds nus et du genou, pas de modification du Pic d'impact
Score PEDro	5/10

<b>Thompson, M et al. 2016</b>	
Références Bibliographiques	Thompson M, Seegmiller J, McGowan CP. Impact Accelerations of Barefoot and Shod Running. Int J Sports Med 2016;37:364–8. <a href="https://doi.org/10.1055/S-0035-1569344">https://doi.org/10.1055/S-0035-1569344</a> .
Méthode	Essai contrôlé non randomisé
Population	10 coureurs avec frappe de talon (5 Hommes et 5 Femmes) Agés d'environ 26 ans, une taille moyenne de 1,74m et un poids d'environ 65,6kg  - <u>Critère d'inclusion</u> : Frappe du talon
Groupes	Chaussé Pieds nus Pieds nus avec frappe talon
Intervention	1 Course à une vitesse auto sélectionnée de 30min avec une phase d'échauffement de 5 à 10min sur une piste de 15m.
Résultats	Diminution de la longueur de la foulée pieds nus, du taux de charge et du Pic d'impact. Une différence significative de l'angle de la cheville et de la hanche (augmentation flexion) et augmentation de la flexion de genou (pas significative) pieds nus.
Score PEDro	5/10

**Bonacci, Jason et al. 2014**

Références Bibliographiques	Bonacci J, Vicenzino B, Spratford W, Collins P. Take your shoes off to reduce patellofemoral joint stress during running. Br J Sports Med 2014;48:425–8. <a href="https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092160">https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092160</a> .
Méthode	Essai contrôlé randomisé (Cross Over)
Population	22 coureurs (14 Hommes et 8 femmes avec un âge moyen de 29,2 ans, une taille moyenne de 1,76m et un poids de 65,6kg)  - <u>Critère d'inclusion</u> : Coureurs très entraînés (capable de réaliser 33km/semaine à hauteur de 2 séances/semaines)  - <u>Critère d'exclusion</u> : Souffrir de problèmes musculosquelettiques ou neurologiques empêchant de s'entraîner sur les 3 derniers mois
Groupes	Chaussé : l'ensemble des coureurs a utilisé une chaussure de contrôle neutre (NIKE Luna Racer) Pieds nus
Intervention	20 essais de course sur une piste de course synthétique intérieure de 110m. Les essais sont effectués sur 20m La vitesse = 90% du meilleurs temps des participants sur 10km au cours des 12 derniers mois + un échauffement = 5 essais de course
Résultats	- Augmentation fréquence de foulée - Diminution de la longueur de foulée, de la dorsiflexion de cheville, de l'angle maximal de flexion de genou, du moment maximal de l'extension de genou, des forces et contraintes fémoro-patellaire pour la condition pieds nus.
Score PEDro	6/10

<b>McCallion, Ciara et al. 2014</b>	
Références Bibliographiques	McCallion C, Donne B, Fleming N, Blanksby B. Acute differences in foot strike and spatiotemporal variables for shod, barefoot or minimalist male runners. J Sports Sci Med 2014 ;13 :280–6.
Méthode	Essai contrôlé randomisé (Cross Over)
Population	14 athlètes masculins (âgés d'environ 25 ans ; une taille moyenne de 1,78m et un poids moyen de 67,6kg)  - <u>Critères d'inclusions</u> : Coureurs de moyennes ou longues distances Coureurs ayant participé à des compétitions (en moyenne depuis 8ans) Coureurs réalisant une moyenne de 30 à 50km/semaine  - <u>Critère d'exclusion</u> : Sans blessure aux membres inférieurs au cours des 6 derniers mois
Groupes	Chaussé : avec leurs chaussures habituelles Pieds nus Minimaliste : Vibram Five Finger
Intervention	2 visites :  1 <sup>ère</sup> → Familiarisation du tapis roulant (4min de course à vitesse auto sélectionnée dans les 3 conditions) 2 <sup>ème</sup> → test de 6 essais de 4 min dans les 3 conditions  Test à deux vitesses différentes (70% et 85%) du meilleur temps de course lors de 5km. Une vitesse moyenne de groupe de 13km/h
Résultats	Pas de différence significative de frappe du pied Une durée de foulée, temps de vol et temps de contact significativement plus courts et la fréquence de foulée plus élevée pieds nus
Score PEDro	6/10

**Annexe 11 : Description des populations**

Articles	Groupes	Effectifs	Age (Années)	Sexe	Taille (m)	Poids (kg)	Type de coureur	Distance parcourue par semaine (Km)	Années d'expérience	Spécificité de l'étude
2020	Chaussé	13	20 à 35 ans	Hommes	1.77m ±0.02	76kg ±4	Récréatif	35km/semaine 3j/semaine	3ans ±1	- Connaître course sur tapis roulant - Aucune expérience CAP pieds nu
	Pieds nu				IMC = 24kg/m <sup>2</sup> ±1.1					
2019	Chaussé	60	18 à 35 ans	29 Hommes	1.76m ±0.08	70.4kg ±10.5	Novices/Récréatif (étudiants et employés universitaire)	✘	✘	- Pas d'expérience dans un sport pieds nu
	Pieds nus			31 Femmes						
	Contrôle									
2016 thompson	Chaussé	10	26 ans ±7.3	5 Hommes	1.74m ±0.09	65.6kg ±10.2	Récréatif	✘	✘	✘
	Pieds nu			5 Femmes						
	Pieds nu Talon									
2016 Tam	Chaussé	51	28.2 ans ±5	Hommes	1.80m ±0.1	74.7kg ±10.7	Récréatif	✘	✘	- Capable de courir 10km en 50min
	Pieds nu									
2014 Bonnaci	Chaussé	22	29.2 ans ±6	14 Hommes	1.76m ±0.07	65.6kg ±8.8	Récréatif	33km/semaine 2j/semaine	✘	✘
	Pieds nu			8 Femmes						
2014 McCallion	Chaussé	14	25ans ±6	Hommes	1.78 ±0.06	67.6kg ±5.8	Athlètes/compétitions	30 à 50km/semaine	8 ans ±3	-Courir habituellement chaussé
	Pieds nu									
	Minimaliste									

**Annexe 12** : Description des interventions

	<b>Tapis/Pistes</b>	<b>Caméra d'analyse cinématique du coureur</b>	<b>Marqueurs réfléchissants</b>	<b>Plateforme de Force</b>	<b>Spécificités</b>
<b>Da Silva, Camila C et al. 2020</b>	Tapis roulant motorisé (Gait trainer 3)	Magnétoscope (Panosic) Analyse 2D	-Epaule -Hanche -Genou -Pied	✓	- Mesures prises côté gauche - Lumière artificielle et t° 23°C
<b>Hollander, Karsten et al. 2019</b>	Tapis roulant (TRAC 4000)  Plateforme de stabilité (16030 L)	VICON motion systems Ltd  Analyse 3D	-Bassin -Membres inférieurs	✓	✗
<b>Thompson, M et al. 2016</b>	Piste 15m	VICON MX  Analyse 3D	-Bassin -Membres inférieurs	✓	- Accéléromètre
<b>Tam, Nicholas et al. 2016</b>	Piste de course intérieure synthétique de 40m	VICON MX Analyse 3D	-Bassin -Membres inférieurs	✓	✗
<b>Bonacci, Jason et al. 2014</b>	Piste de course intérieure synthétique de 110m	VICON (Oxford Metrics Ltd)  Analyse 3D	-Bassin -Membres inférieurs	✓	- Portes de synchronisations
<b>McCallion, Ciara et al. 2014</b>	Tapis roulant Proform 700 ZLT	CODA  Analyse 3D	LED infrarouges (articulations)	✓	- Stadiomètre - Balance étalonnée

**Annexe 13** : Description des programmes d'entraînements

	<b>Temps de suivi</b>	<b>Nombre de séances / Essais</b>	<b>Déroulement d'un essai</b>	<b>Vitesse de course</b>
<b>Da Silva, Camila C et al. 2020</b>	1 semaine	2 séances à une semaine d'intervalle	8min d'échauffement 1 essai = 5km sur tapis roulant	Déterminer à la période d'échauffement
<b>Hollander, Karsten et al. 2019</b>	8 semaines	1 séance par semaine	15min de course + 15x30sec plateforme de stabilité  Avant et Après intervention. Une mesure CAP sur tapis, 5min x2 à 10km/h	- vitesse déterminée à 70% VO2max  - fixée à 10km/h
<b>Thompson, M et al. 2016</b>	x	1 essai	5/10min d'échauffement  Course dans les 3 conditions (chaussée, pieds nus, frappe talon)	Vitesse auto sélectionnée
<b>Tam, Nicholas et al. 2016</b>	x	6 essais	2 longueurs de pistes de 40m pour s'échauffer  Puis 6 essais dans chaque condition de chaussure	Vitesse en fonction de la performance moyenne sur 10km pendant 1 mois
<b>Bonacci, Jason et al. 2014</b>	x	20 essais	Echauffement = 5 essais de courses  10 essais dans chaque condition	Vitesse à 90% du meilleur temps du participant sur 10km au cours des 12 derniers mois
<b>McCallion, Ciara et al. 2014</b>	x	2 visites	1 <sup>ère</sup> visite = 4min tapis 2 <sup>ème</sup> visite = 6 essais de 4min sur tapis avec 10min de repos entre. Dans 3 conditions	Vitesse auto sélectionnée

**Annexe 14** : Description des critères de Jugements

	FRS	Moment articulaire et puissance	Taux de charge	Impulsion	Mode de frappe du pied	Fréquence/Cadence de Foulée	Longueur de foulée	Amplitude de mouvement articulaire au contact du sol	Angle articulaire au contact du sol
2020	x	x	x	x	x	✓	x	✓	✓
2019	✓	x	✓	x	✓	✓	✓	x	✓
2016 (Thompson)	✓	x	✓	x	x	x	✓	x	✓
2016 (Tam)	✓	x	✓	x	x	x	x	x	✓
2014 (Bonnaci)	x	✓	x	x	x	✓	✓	x	✓
2014 (McCallion)	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x

**Titre :**

- ANALYSE BIOMÉCANIQUE DE LA COURSE SANS CHAUSSURE CHEZ LES COUREURS : REVUE DE LITTÉRATURE.

**Titre :**

- BIOMECHANICAL ANALYSIS OF RUNNING WITHOUT SHOES IN RUNNERS : LITERATURE REVIEW.

**Résumé :**

**Contexte :** Au cours de ces dernières décennies le succès de la course à pied, pieds nus a pris de l'ampleur. Cela est dû notamment à la popularité du livre « Born to Run » de Christopher McDougall et également de la part des médias qui promeut un retour à une course plus naturelle et qui soutiennent une argumentation de prévention des blessures, d'amélioration de l'efficacité de la course et de meilleures performances par rapport à la course chaussée. Les différences biomécaniques et la prévention des blessures de ce mode de course n'ont pas été clairement définies à ce jour.

**Objectif :** Evaluer la différence Biomécanique (Cinétique et Cinématique) entre la course pieds nus et chaussée chez les coureurs (Novices/récréatifs ; Athlètes/compétiteurs)

**Méthodologie :** Les bases de données médicales PEDro, Pubmed, Cochrane library ainsi que la littérature grise ont été consultées afin de rassembler 6 essais contrôlés randomisés pour cette revue de littérature. Les études devaient inclure des coureurs habituellement chaussés qui courent une distance définie par semaine et étaient exclus s'ils avaient subi des blessures au cours des 6 derniers mois

**Résultats :** Un total de 163 coureurs a été évalué lors de la course à pied, en comparant deux modèles de courses (chaussée et pieds nus). Les résultats confortent des différences biomécaniques entre les deux modes de courses : augmentation de la cadence de foulée, des amplitudes articulaires (hanche, genou et flexion plantaire) (Cinématique) et diminution du pic d'impact, du taux de charge ainsi que des FRS (Cinétique). On s'aperçoit également une augmentation des douleurs sur des muscles qui sont plus sollicités mais aussi une diminution des pressions exercées sur l'articulation fémoro-patellaire.

Ces résultats sont à prendre avec précaution car ces changements sont peu significatifs, en outre plusieurs biais ont été retrouvés dans les études et pour finir toutes ces études n'ont pas été standardisées de la même manière.

**Conclusion :** A ce jour on ne peut pas affirmer avec certitude qu'une méthode de course est préférable à une autre. On sait également que les blessures ne sont pas diminuées mais localisées à d'autres endroits. Il serait bien que dans un futur proche de nouvelles études standardisées voient le jour avec un plus grand nombre de population intégrée. Il serait également intéressant de faire des recherches sur la prévention des blessures d'un modèle de frappe chaussée et pieds nus.

**Résumé :**

**Background:** In recent decades the success of barefoot running has grown more popular among runners. This is due in part to the popularity of the book "Born to Run" by Christopher McDougall and also to the media promoting a return to more natural running and supporting a case for injury prevention, improved running efficiency and better performance compared to shod running. The biomechanical differences and injury prevention of this mode of running have not been clearly defined up-to-date.

**Objective :** To assess the biomechanical difference (kinetics and kinematics) between barefoot and shod running in runners (novice/recreational ; athletes/competitors).

**Methodology:** The medical databases PEDro, Pubmed, Cochrane library and the grey literature were searched to gather 6 randomized controlled trials for this literature review. Studies were required to include usually shod runners who ran a defined distance per week and were excluded if they had suffered any running-related injuries in the last 6 months.

**Results:** A total of 163 runners were assessed during running, comparing two running patterns (shod and barefoot). The results confirm biomechanical differences between the two running modes: increase in stride rate, joint amplitudes (hip, knee and plantar flexion) (Kinematics) and decrease in peak impact, load rate and FRS (Kinetics). There was also an increase in pain in the muscles that were more solicited, but also a decrease in the pressure exerted on the patellofemoral joint. These results should be taken with caution because these changes are not very significant, in addition several biases were found in the studies and finally all these studies were not standardized in the same way.

**Conclusion:** To date, it is not possible to state with certainty that one method of running is preferable to another. It is also known that injuries are not reduced but located to other areas. It would be good if in the near future new standardized studies could be carried out with a larger number of sample population included. It would also be interesting to research the injury prevention of a shod and barefoot hitting model.

**Mots clés :**

Course à pied, pieds nus, biomécanique, Force de réaction au sol.

**Mots clés :**

Barefoot running, biomechanics, ground reaction force.