

UE 28 : Mémoire d'initiation à la démarche de recherche

Catégorie de mémoire :

2.1 Recherche clinique

**Impact de la foulée minimaliste sur l'intensité de la douleur chez
l'adulte coureur atteint d'un syndrome fémoropatellaire
Une revue systématique**

Sous la direction de Monsieur Benjamin Granger

RESUME

Contexte : Le syndrome fémoropatellaire est l'affection la plus fréquente chez le coureur. Or la foulée minimaliste semble diminuer le facteur de risque principal qui est un excès de contraintes sur l'articulation. Mais qu'en est-il de la douleur ? Cette technique pourrait ainsi réduire le risque de chronicisation. L'objectif est de déterminer les répercussions du passage à une foulée minimaliste sur l'intensité de la douleur chez l'adulte coureur atteint d'un syndrome fémoropatellaire.

Design : Revue systématique suivant les directives PRISMA.

Méthode : Une recherche a été effectuée sur Pubmed, Pedro, la Cochrane, Rehab+, Sciencedirect et Google scholar. La dernière date du 17 novembre 2019. Pour que l'étude soit incluse, l'intervention devait faire passer des coureurs adultes âgés de dix-huit à quarante-cinq ans et atteints d'un syndrome fémoropatellaire à une foulée minimaliste. Le critère de jugement principal était l'intensité de la douleur tandis que la fonction et la performance en course à pied étaient secondaires. Le niveau de preuve et la qualité des études incluses ont été déterminés. Une synthèse descriptive et qualitative a ensuite été effectuée afin d'analyser les résultats obtenus. Enfin, des recommandations ont été formulées.

Résultats : Quatre ECR et trois séries de cas ont été inclus dans la revue. Les douleurs (pires, moyennes, liées aux activités ou à la course) ainsi que les capacités fonctionnelles ont été améliorées. Ces avantages ont été maintenus dans le temps. Seules les performances en course à pied n'ont pas évolué suite au changement de foulée.

Discussion : Les preuves sont de grade A pour l'attaque « avant-pied », de grade B pour l'augmentation de la cadence associée aux chaussures minimalistes ou le traitement au cas par cas et de grade C pour l'augmentation de la cadence seule. Le changement de foulée doit toutefois être préparé et progressif. Le renforcement musculaire et l'éducation du coureur à la quantification du stress mécanique doivent ainsi y être associés.

Conclusion : La foulée minimaliste s'avère efficace sur les symptômes fémoropatellaires. Cependant, le nombre limité d'études, le design de certaines, les biais, l'hétérogénéité de méthodologie et des interventions rendent difficile l'élaboration d'une conclusion générale. D'autres études de haute qualité sont nécessaires pour conclure de façon probante.

Mots clés : syndrome fémoropatellaire, douleur fémoropatellaire, analgésie, foulée minimaliste, course à pied

ABSTRACT

Background: Patellofemoral pain is the most common running injury. The minimalist stride seems to reduce the main risk factor, which is an excessive mechanical overload on the joint. But what about the pain? This strategy could reduce the risk of chronicization. The objective of this review is to determine the impact of the transition to a minimalist stride on the intensity of pain for an adult runner with a patellofemoral syndrome.

Design: The systematic review was written according to the PRISMA guidelines.

Methodology: A search was conducted on Pubmed, Pedro, the Cochrane, Rehab+, Sciencedirect and Google scholar. The latest date is on November 17, 2019. To be included, the intervention's study had to consist of a transition to a minimalist stride on adult runners aged of eighteen to forty-five years old with patellofemoral pain. The primary outcome was variation of pain intensity, while function and running performance were secondary. The level of evidence and the quality of the included studies were determined. A descriptive and qualitative synthesis was then conducted to examine the results obtained. Finally, recommendations were proposed.

Results: Four RCTs and three case series were included in the review. Pain (worst, average, activity or running related pain) and functional abilities were improved. These benefits have been maintained over time. Only running performance did not change as a result of gait retraining.

Discussion: The evidence is Grade A for the transition to a "forefoot" attack, Grade B for the increase of rate associated with wearing minimalist footwear or case-by-case treatment, and Grade C for only the increase of rate. However, the running retraining must be prepared and progressive. Muscle strengthening and education of the runner in the quantification of mechanical stress should also be associated with it.

Conclusion: The minimalist stride seems effective for patellofemoral pain. The limited number of studies, the design of some of them, biases, heterogeneity of methodology and interventions make the elaboration of a general conclusion difficult. Other high-quality studies are needed to conclude with evidence.

Key Words: Patellofemoral pain, Patellofemoral syndrome, analgesia, minimalist stride, running.

REMERCIEMENTS

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce au concours de plusieurs personnes auxquelles je souhaiterais exprimer ma gratitude :

Monsieur Benjamin GRANGER, mon directeur de mémoire et intervenant à l'Institut de formation de masso-kinésithérapie EFOM Boris Dolto pour sa disponibilité, son implication et ses conseils avisés qui m'ont permis d'avancer tout au long de la rédaction de mon mémoire.

Monsieur Edson GENDREY, mon expert pour le mémoire et assistant pédagogique à l'Institut de formation de masso-kinésithérapie EFOM Boris Dolto, pour ses remarques pertinentes grâce auxquelles j'ai pu me questionner et ainsi augmenter mes savoirs et connaissances.

Monsieur Sébastien HENRY, mon tuteur de stage durant le clinicat et diplômé de La Clinique Du Coureur™ pour sa lecture attentive, ses remarques pertinentes et ses encouragements.

Madame Adeline MORIN, documentaliste à l'Institut de formation de masso-kinésithérapie EFOM Boris Dolto pour ses conseils dans la réalisation de mes recherches, de mise en page et d'utilisation de logiciels comme Zotero et Word.

L'ensemble de l'équipe pédagogique de l'Institut de formation de masso-kinésithérapie EFOM Boris Dolto pour leur écoute et leur aide lors de la construction de ma problématique. Je les remercie également pour leur partage de savoirs théoriques et pratiques au cours de ses quatre années de formation.

Jean LICHTLE et Yoann CHANET diplômés de l'année précédente ; Audrey RIGUET, Lina TAKKA et Pauline SANTMARTY étudiantes de ma promotion ; Julien le BRETON et Bastien DARTHOUT de la promotion suivante pour leurs relectures et conseils pertinents.

Ma famille pour leur soutien, leurs relectures et leurs corrections apportées à mon travail.

SOMMAIRE

PARTIE I – Introduction personnelle 1

1. Situation d'appel et questions de départ..... 1

2. Exploration de la thématique..... 1

2.1. Méthode de recherche exploratoire 1

2.2. Recueil des informations issues de la littérature..... 2

2.2.1. Épidémiologie 2

2.2.2. La modification de la foulée d'un point de vue préventif et curatif 3

PARTIE II - Partie scientifique 4

1. Introduction scientifique : de la question de départ à la question d'investigation 4

1.1. Cadre théorique, exploration du sujet 4

1.1.1. Définition SFP 4

1.1.2. Épidémiologie 4

1.1.3. Physiopathologie du SFP 5

1.1.4. Étiologies et facteurs de risque SFP 6

1.1.5. Impact, évolution et pronostic du SFP 8

1.1.6. Recommandations pour les traitements masso-kinésithérapiques : 9

1.1.7. Les types de foulées chez le coureur 9

1.1.8. Le changement de foulée et le biofeedback 11

1.1.9. L'impact de la foulée sur les contraintes FP 11

1.1.10. Définition de la foulée minimaliste 12

1.1.11. L'éducation 13

1.2. Manques dans la littérature et pertinence de la question d'investigation..... 13

1.3. Objectifs de la revue 14

2. Corps de mémoire : Une revue systématique 15

2.1. Méthode de recherche..... 15

2.1.1. Protocole 15

2.1.2. Les critères d'éligibilité 15

2.1.3. Les bases de données 16

2.1.4. Recherche : mots clés et équations..... 16

2.1.5. Sélection des études 17

2.1.6. L'extraction des données 18

2.1.7. Évaluation du risque de biais 18

2.1.8. Quantification des résultats 19

2.1.9. Synthèse des résultats..... 19

2.2. Résultats : recueil des informations issues de la littérature 20

2.2.1.	Sélection des études	20
2.2.2.	Caractéristiques des études	20
2.2.3.	Évaluation de la qualité des études	25
2.2.4.	Analyse descriptive	26
2.3.	Discussion scientifique	34
2.3.1.	Synthèse et analyse des résultats	34
2.3.2.	La foulée minimaliste est-elle plus efficace sur la douleur qu'un placebo ?	36
2.3.3.	Explications physiologiques des résultats	37
2.3.4.	L'impact est-il différent suivant le type de douleur ?	38
2.3.5.	Le niveau de course à pied influence-t-il les résultats ?	38
2.3.6.	Quelle est la posologie nécessaire pour que la foulée minimaliste soit efficace ?	39
2.3.7.	Quelles sont les techniques d'apprentissage de la foulée minimaliste les plus efficaces sur les symptômes FP ?	39
2.3.8.	La foulée minimaliste est-elle plus efficace que d'autres techniques de modification de la foulée ?	40
2.3.9.	La foulée minimaliste est-elle plus efficace que d'autres techniques de rééducation conventionnelle ?	42
2.3.10.	Évènements indésirables	43
2.3.11.	Recommandations	43
2.3.12.	Biais et limites	44
2.3.13.	Pistes futures	47
2.4.	Conclusion	48
2.5.	Déclaration de liens d'intérêt	48
<i>PARTIE III - Discussion personnelle : Mise en perspective professionnelle</i>		<i>49</i>
1.	Recommandations pour la pratique	49
2.	Gestion globale du projet mémoire	50
3.	Évolution des connaissances dans le domaine de la masso-kinésithérapie	51
4.	Évolution et exploitation des compétences dans le domaine de la recherche	51
<i>BIBLIOGRAPHIE:</i>		<i>52</i>
<i>ANNEXES.....</i>		<i>61</i>

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Tableaux

<i>Tableau I: Facteurs de risque (FDR) du SFP</i>	<i>8</i>
<i>Tableau II: Impact de la foulée minimaliste sur les contraintes fémoropatellaires</i>	<i>12</i>
<i>Tableau III: Méthode de recherche afin de répondre à la revue</i>	<i>17</i>
<i>Tableau IV: Extraction des caractéristiques des études et résultats</i>	<i>29</i>
<i>Tableau V: Niveaux de preuve (selon l'échelle NHMRC) et qualité des études (selon l'échelle Downs and blacks modifiée, 1998) [85]</i>	<i>25</i>
<i>Tableau VI: Variation de l'intensité de la douleur des études incluses suite au passage à une foulée minimaliste</i>	<i>29</i>
<i>Tableau VII: Variation du niveau fonctionnel des études incluses suite au passage à une foulée minimaliste</i>	<i>32</i>
<i>Tableau VIII: Variation du niveau de performance en course à pied suite au passage à une foulée minimaliste</i>	<i>33</i>
<i>Tableau IX: Recommandations établies à partir de l'échelle NHMRC (2009).....</i>	<i>44</i>
<i>Tableau X: Évaluation de la revue systématique (D'après la grille R-AMSTAR)</i>	<i>46</i>
<i>Tableau XI: Méthode de recherche préliminaire</i>	<i>66</i>
<i>Tableau XII: Extraction des données des articles en vue de l'élaboration de ma question</i>	<i>67</i>
<i>Tableau XIII: Extraction des données et des caractéristiques des études sur l'impact de la foulée minimaliste sur les contraintes FP ainsi que les forces d'impact verticales au sol.....</i>	<i>77</i>
<i>Tableau XIV: Impact de la foulée minimaliste sur les forces de réaction verticales au sol ..</i>	<i>104</i>
<i>Tableau XV: Matrice de l'ensemble des données scientifiques (D'après le NHMRC 2009)..</i>	<i>108</i>
<i>Tableau XVI: Gradation des recommandations (D'après le NHMRC 2009)</i>	<i>108</i>

Figures

<i>Figure I: Régions anatomiques les plus blessées lors de la course à pied (D'après les données de Francis et al., 2018) [1]</i>	<i>2</i>
<i>Figure II: Graphiques représentant la proportion des blessures les plus fréquentes liées à la course à pied (D'après les données de Francis et al., 2018) [1].....</i>	<i>2</i>
<i>Figure III: Homéostasie tissulaire et surcharge. (D'après Dye et al., 2005, traduit et modifié) [16].....</i>	<i>5</i>

<i>Figure IV: Diagramme de flux de la recherche d'articles</i>	20
<i>Figure V: Image représentant le DROP, différence de hauteur entre le talon et les orteils (D'après La Clinique Du Coureur™) [64]</i>	63
<i>Figure VI: Chaussures de course à pied suivant l'indice minimaliste (D'après La Clinique Du Coureur™) [64]</i>	63
<i>Figure VII: Courbes représentant la force de réaction verticale au sol en fonction du temps chez des coureurs ayant une attaque naturelle arrière-pied (A) et avant-pied (B) (D'après Lieberman et al., 2012, modifié) [4]</i>	64
<i>Figure VIII: La quantification du stress mécanique (D'après La Clinique Du Coureur™)[80]</i>	68
<i>Figure IX: Modèle physiopathologique du SFP (D'après Powers et al., 2017. Traduit et modifié) [18]</i>	70
<i>Figure X: Translation latérale de la rotule associée au défaut d'engagement patellaire dans le SFP (D'après Petersen et al., 2017)[23]</i>	71
<i>Figure XI: Schéma représentant l'angle Q (D'après Petersen et al., 2017) [23]</i>	71
<i>Figure XII: Dépliant éducatif pour les patients atteints de SFP : causes de la douleur et traitements (D'après Barton et al., 2016) [118]</i>	80
<i>Figure XIII: Programme d'éducation à la gestion de la charge lors de la course à pied chez le patient atteint de douleurs FP (D'après Esculier et al., 2018) [74]</i>	81
<i>Figure XIV: Échelles numériques de la douleur habituelle, la pire douleur et la pire douleur pendant la course (D'après Esculier et al., 2017) [119]</i>	98
<i>Figure XV: Patellofemoral Pain Syndrome Severity Scale (PSS) (D'après Laprade et al., 2002) [120]</i>	99
<i>Figure XVI: Échelle Kujala ou Anterior knee pain scale (AKPS) (D'après Kaux et al., 2018) [121]</i>	100
<i>Figure XVII: Knee Outcome Survey Activities of daily living scale (KOS-ADLS) (D'après Esculier et al., 2017) [119]</i>	102
<i>Figure XVIII: Lower Extremity Functional Scale (LEFS) (D'après Binkley et al., 1999)[95]</i>	103

TABLE DES ABRÉVIATIONS

SFP	Syndrome fémoropatellaire
MK	Masseur-Kinésithérapeute
ECR	Essai contrôlé randomisé
FP	Fémoropatellaire
FDR	Facteur de risque
EBP	Evidence Based Practice
FCF	Forces de contact fémoropatellaires
FPF	Forces de pression fémoropatellaires
DM	Différence de moyenne
DMCI	Différence minimale cliniquement importante
EVA	Échelle visuelle analogique
PSS	Patellofemoral Pain Syndrome Severity Scale
AKPS	Anterior Knee Pain Scale
EN	Échelle numérique
KOS-ADLS	Knee Outcome Survey of the Activities of Daily Living Scale
LEFS	Lower Extremity Functional Scale

PARTIE I – Introduction personnelle

1. Situation d'appel et questions de départ

Ma situation d'appel remonte au mois de mai 2017 pendant mon deuxième stage de première année où j'ai été initiée à l'analyse de la foulée et sa modification par un tuteur ayant fait la formation La Clinique Du Coureur™. L'analyse était réalisée sur tapis de course grâce à un logiciel sur tablette puis des stratégies de modification du patron de course pouvaient être proposées au coureur. Le changement de foulée pouvait avoir plusieurs objectifs comme diminuer les douleurs ou reprendre le sport de manière anticipée et dans de meilleures conditions. Réaliser de meilleures performances et courir de manière plus économique peuvent être aussi des motivations pour le patient. Lors de l'analyse et la rééducation du patron de course, le type de chaussure était également pris en compte. En effet, le niveau de minimalisme influence la foulée du coureur.

Suite à ce stage, je me suis questionnée :

« Quelles sont les stratégies de modification de la foulée diminuant de façon probante les douleurs des membres inférieurs ? »

« Comment modifier le schéma de course suivant la blessure ? »

En deuxième année, un conférencier nous a déconseillé de modifier le schéma de course d'un coureur sans en expliquer les raisons. Cette affirmation m'a interpellée, il m'a alors semblé qu'il s'agissait d'une thématique discutée suscitant des désaccords. Ceci a confirmé mon intérêt pour le choix de cette thématique.

2. Exploration de la thématique

2.1. Méthode de recherche exploratoire

Intéressée par cette thématique qu'est la modification du schéma de course chez le coureur blessé, j'ai commencé mes recherches le 5 mars 2019. D'abord dans la littérature grise : débats, podcasts, cours et consultations du site de La Clinique Du Coureur™ ainsi que la lecture d'anciens mémoires. Ces premières recherches principalement en français m'ont apporté des connaissances sur les différents types de foulées existantes et les méthodes pour diminuer la force d'impact du pied au sol. J'ai poursuivi ce travail dans la littérature anglophone avec des mots-clés larges afin d'enrichir mes connaissances et d'orienter ma question de départ. Les mots-clés étaient: « running retraining », « running runaways », « gait retraining » « running »,

« lower limb pain ». La littérature sur ce domaine s’est enrichie ces dernières années. En effet, l’équation de recherche suivante « (running retraining OR gait retraining OR strike pattern) AND runners » sur Google scholar donne 5570 résultats de plus entre 2009 et 2019 qu’entre 1999 et 2009. Ces recherches développées dans l’*Annexe I* m’ont permis de répondre à mon interrogation sur les stratégies existantes pour modifier le patron de course. Suite à cette première approche de la thématique, j’ai réalisé des recherches plus précises et orientées du 20 mars au 17 avril 2019 notamment sur l’épidémiologie des blessures liées à la course à pied, l’épidémiologie du syndrome fémoropatellaire (SFP), les recommandations de traitements MK du SFP et les modifications du patron de course. Ces premières recherches ont été restreintes aux revues systématiques et aux essais contrôlés randomisés (ECR) afin d’avoir des preuves de haut niveau. L’*Annexe II* est composée de deux tableaux. Le premier résume les différentes équations de recherche utilisées dans les bases de données. Le deuxième synthétise les idées principales traitées dans les articles utilisés pour l’élaboration de la problématique initiale.

2.2. Recueil des informations issues de la littérature

2.2.1. Épidémiologie

Le genou est la région anatomique la plus touchée lors de la course à pied avec un taux de 28% [1, 2]. Comme le montre la *Figure I*, après le genou, 26% des blessures concernent la cheville et 16% la jambe d’après une revue récente de Francis et al. de 2018 [1]. Cette même revue indique que le SFP est l’atteinte la plus fréquemment rencontrée chez le coureur avec un taux de 17% (*Figure II*) [1]. Le SFP est suivi de la tendinopathie d’Achille, de la périostite tibiale, de la fasciite plantaire, du syndrome de la bandelette iliotibiale avec des taux compris entre 5 et 10% [1].

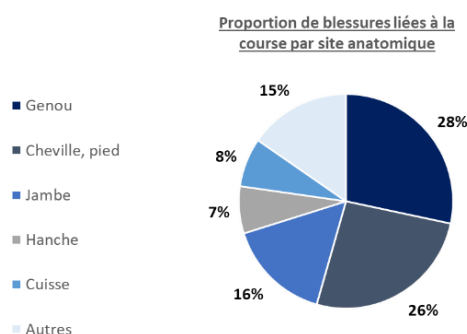


Figure I: Régions anatomiques les plus blessées lors de la course à pied (D’après les données de Francis et al., 2018) [1]

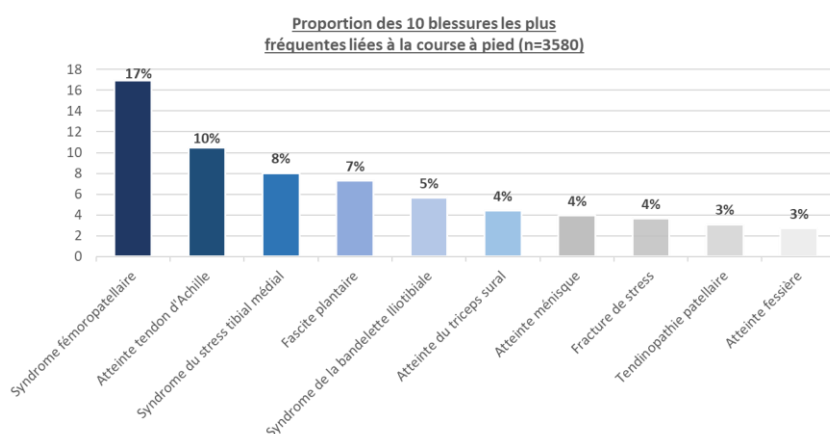


Figure II: Graphiques représentant la proportion des blessures les plus fréquentes liées à la course à pied (D’après les données de Francis et al., 2018) [1]

2.2.2. La modification de la foulée d'un point de vue préventif et curatif

Concernant la modification du patron de course, une revue systématique de 2015 regroupant vingt-sept études s'est intéressée à l'effet à court terme des interventions biomécaniques lors de la course à pied sur les variables cinématiques, cinétiques et spatiotemporelles [3]. Les interventions sont développées en *Annexe I*. Elles consistaient à modifier la longueur, le large de foulée, l'attaque du pied au sol (« avant ou arrière pied »), l'état chaussé ou non des pieds et augmenter la cadence [3]. D'après cette revue, la transition vers une foulée « avant ou médio-pied » semble prometteuse d'un point de vue cinétique, cinématique et spatiotemporel [3]. J'ai donc souhaité m'intéresser plus particulièrement à cette technique. En effet, ce changement de foulée semble diminuer les forces d'impact verticales lors du contact du pied au sol [4, 5]. Bien que non démontré de façon claire dans la littérature, de nombreux auteurs associent ces forces à un risque accru de blessure lors de la course à pied [5, 6]. Néanmoins, la revue précédemment citée n'étudiait pas l'effet sur la douleur [3]. Je me suis alors interrogée sur l'impact de ce changement de foulée d'un point de vue antalgique.

J'hésitais cependant sur l'orientation de ma question : Etudier l'impact de la foulée avant-pied sur la douleur fémoropatellaire (FP) ou sur les articulations du pied du fait de contraintes plus importantes sur l'avant-pied. J'ai alors contacté plusieurs experts du domaine : Blaise Dubois (président de *La Clinique Du Coureur™*) et Cyrille Gindre (chercheur et auteur du livre *Courir en harmonie*). Ces derniers m'ont plutôt conseillé d'étudier l'impact sur le SFP au vu de son épidémiologie et du manque de preuves dans la littérature. J'ai ainsi recentré mon sujet au SFP, affection la plus fréquente en course à pied [1].

En résumé, le changement de foulée est associé à une diminution de l'impact vertical lors du contact du pied au sol [4]. Il semble ainsi diminuer le risque de développer certaines blessures liées à la course à pied dont la plus fréquente est le SFP [5]. Néanmoins, d'après les dernières recommandations concernant le SFP de 2018 et 2019, il y a de l'incertitude dans l'utilisation de la modification du patron de course (de grade C) comme traitement de ces douleurs du fait d'un manque de données probantes [7, 8]. Mon intérêt pour la rééducation du patron de course et son impact sur les symptômes FP dans le but de continuer ou reprendre ce sport a donc été renforcé.

Ma problématique de départ est alors devenue :

« Quelle est l'influence de la modification de la foulée par une attaque avant-pied sur le syndrome fémoropatellaire ? »

PARTIE II - Partie scientifique

1. Introduction scientifique : de la question de départ à la question d'investigation

1.1. Cadre théorique, exploration du sujet

1.1.1. Définition SFP

Le SFP est un syndrome donc constitue un ensemble de signes cliniques et de symptômes. Il a été défini en 2016 par des experts, lors de la quatrième réunion internationale pour cette affection, comme une douleur « *présente autour ou derrière la rotule et aggravée par au moins une activité qui met en charge l'articulation fémoropatellaire sur un genou fléchi (par exemple : accroupissement, marche en escalier, jogging/course, saut)* » [8, 9]. La surface de contact augmente ainsi que les contraintes articulaires au cours de la flexion jusqu'à un maximum de 90-100° [10]. Au-delà, la surface de contact et les contraintes diminuent [10]. C'est pourquoi les douleurs sont prédominantes lors d'activités le genou fléchi. Les termes « *douleur FP* », « *douleur antérieure au genou et/ou syndrome* » et « *genou du coureur* » sont également utilisés pour définir cette affection [9].

D'autres symptômes peuvent y être associés comme une sensation de grincement, de craquements de l'articulation FP, un petit épanchement ou une douleur patellaire antérieure [9]. En général, le patient dessine un cercle autour la rotule pour désigner la douleur [11]. La douleur est souvent décrite au cours d'une position assise prolongée [9, 11], on parle du « *signe du cinéma* » [11]. Le syndrome est à différencier d'autres affections à l'origine de douleurs antérieures comme la chondromalacie, la pathologie d'Osgood Schlatter, la tendinopathie rotulienne ou l'arthrose FP [12].

1.1.2. Épidémiologie

Le SFP est fréquent chez les personnes actives, et plus particulièrement chez les adolescents, les athlètes et les militaires [13, 14]. De plus, les femmes semblent plus à risque que les hommes [12–14]. En effet, les femmes militaires sont deux fois plus susceptibles de le développer que leurs collègues masculins [14]. Le SFP est aussi une affection fréquente chez les coureurs [1, 2]. La revue de Francis et al. de 2018 déjà citée contient trente-six études sur l'épidémiologie des blessures chez les coureurs [1]. Ainsi avec un taux de 17% des blessures liées à la course à pied, le SFP était la plus rencontrée dans cette population [1]. Une autre étude de Smith et al. a

résumé en 2018 les données épidémiologiques de vingt-trois études dans la population générale ou dans des populations spécifiques [14]. La prévalence annuelle était d'environ 29% chez les adolescents et dépassait celle de la population adulte qui était de 23% [14]. Concernant l'incidence, il est difficile de l'établir avec précision du fait de la diversité des chiffres obtenus dans les études. Une hypothèse est la difficulté de diagnostic au vu de la complexité de la physiopathologie. Le taux d'incidence était de 20,8% sur dix semaines chez des coureuses à titre récréatif [14, 15].

1.1.3. Physiopathologie du SFP

Il existe de nombreuses hypothèses explicatives du SFP dont la compréhension reste discutée. Dye et al. ont introduit en 2005 le concept de la perte d'homéostasie tissulaire [16]. L'homéostasie est un maintien de l'équilibre interne dans l'organisme nécessaire à son bon fonctionnement [16]. Les contraintes sont essentielles pour la résistance des tissus afin d'éviter des blessures (zone de sous charge, infra-physiologique) [16]. Cependant à la suite d'une charge répétitive accrue, le seuil de l'homéostasie est dépassé [16]. Il y a une capacité d'adaptation du corps dans la zone de surcharge supra-physiologique jusqu'à la zone de défaillance structurelle à l'origine de la douleur [16]. Ce modèle est représenté dans la *Figure III*. Il a ensuite été repris par La Clinique Du Coureur™ qui a introduit le concept de la quantification du stress mécanique développée en *Annexe III*.

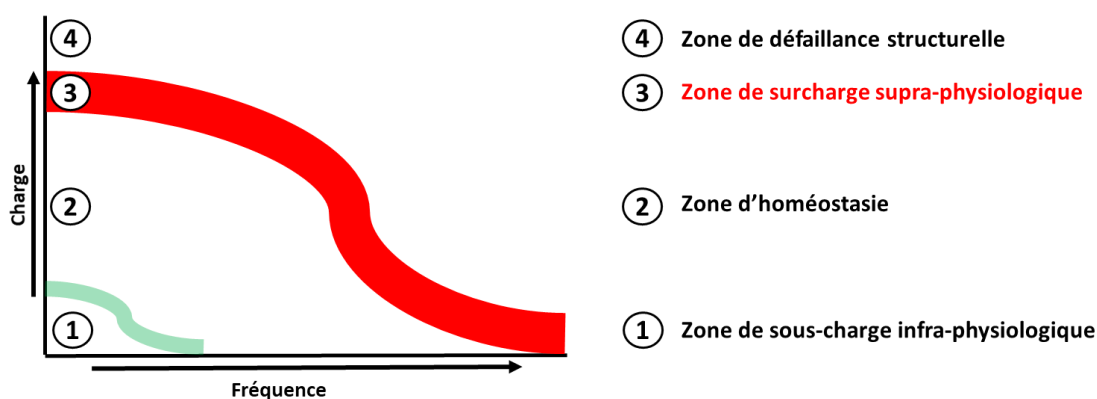


Figure III: Homéostasie tissulaire et surcharge. (D'après Dye et al., 2005, traduit et modifié) [16]

Les structures au sein de l'articulation FP, sont soumises à un stress mécanique important [17]. Bien que le tissu cartilagineux ne soit pas innervé, les contraintes sont transmises à l'os sous chondral qui est innervé et peut être source de douleurs [18–21]. À la suite d'une charge répétitive élevée, l'augmentation du débit veineux peut modifier l'activité métabolique et ainsi augmenter la pression osseuse au sein de la patella [22]. En effet, d'après une étude réalisée par IRM, la teneur en eau est 50% plus élevée lors d'un SFP que chez des sujets sains [22]. La pression au sein de l'articulation peut être aussi augmentée à la suite d'une hydarthrose causée

par une inflammation de la membrane synoviale [16]. L'augmentation de la pression osseuse ou articulaire stimule alors les nocicepteurs sensibles à la pression qui sont à l'origine d'un message douloureux [18]. Une irritation de la membrane synoviale peut également expliquer ces douleurs [18, 19]. La douleur peut aussi être due à une ischémie, à des lésions nerveuses ou à une sollicitation excessive des rétinaculum patellaires provoquant une modification de leur épaisseur et de leur longueur [19, 21, 23]. L'inflammation du coussin adipeux, situé sous le tendon patellaire peut également y contribuer [16, 19].

Suite à cette perte d'homéostasie tissulaire, une modification de la perception de la douleur par une altération du traitement périphérique et central de la douleur pourrait expliquer le caractère chronique de cette douleur [16]. La douleur est chronique lorsqu'elle dure plus de trois mois [24]. Elle persiste au-delà de la durée normale de guérison et d'inflammation des tissus [24]. La douleur, qui est un mécanisme physiologique protecteur, devient alors pathologique car le seuil de la douleur est abaissé [25]. La douleur a ainsi tendance à persister dans le temps [25]. Il s'agit de la sensibilisation nociceptive (périphérique et centrale) expliquée en *Annexe IV*. Le rôle de la sensibilisation dans la chronicité de la douleur FP diffère selon les études. Une étude de Van der Heijden et al. a montré que les personnes atteintes d'un SFP ont une hyperalgie locale et généralisée à la pression [26]. Néanmoins, une autre étude de Rathleff et al. n'a pas observé de différence entre les patients et les témoins sains [27]. La sensibilisation peut ainsi participer à la chronicisation de la douleur FP, mais n'est pas systématique.

1.1.4. Étiologies et facteurs de risque SFP

Ce syndrome d'origine multifactorielle résulte d'une interaction complexe entre des facteurs biologiques, psychologiques et sociaux [18, 26, 28–30]. *L'Annexe V* est un modèle complet de toutes ces interactions : biologiques, psychologiques et sociales.

D'un point de vue biologique, les experts ont construit un modèle (traduit et modifié en *Annexe V*) lors de la quatrième réunion internationale sur les interactions à l'origine du SFP [18]. L'étiologie principale de la douleur serait un stress articulaire anormalement élevé à l'origine d'une perte d'homéostasie des structures avoisinantes [16, 18, 19]. L'articulation FP est soumise à de fortes contraintes estimées à 0,5 fois le poids corporel pendant la marche, à 7,7 fois pendant la course à pied et à 20 fois lors d'un saut [17]. Un mauvais alignement du genou [31, 32], un défaut d'engagement patellaire par une translation patellaire latérale [31] et une augmentation des forces de réaction de l'articulation FP [33] sont les causes principales.

Des défauts anatomiques (patella alta, dysplasie trochléaire) [34–36], une hypoextensibilité des tissus mous comme la bandelette iliotibiale, le rétinaculum latéral [37, 38] ou à l'inverse une laxité médio-latérale importante [39] peuvent contribuer au défaut d'engagement patellaire et donc au SFP. Suite à la construction de ce modèle, Neal et al. ont publié en 2019 une synthèse des données probantes concernant les différents facteurs prédictifs de cette affection [13]. Finalement, selon des preuves solides à modérées, des variables souvent citées comme l'âge, la taille, le poids, l'indice de masse corporelle, la graisse corporelle et l'angle Q ne font en fait pas partie des facteurs de risque [13]. Les résultats ne sont pas systématiquement significatifs dans les études retenues, mais tous montrent globalement une plus grande proportion de femmes atteintes [12–14]. Concernant l'angle Q, les preuves sont plutôt en faveur d'un défaut d'alignement dynamique du genou et donc d'un valgus dynamique qu'une anomalie structurelle avec une augmentation de l'angle Q [13, 32, 40]. Boris Dolto comparait le genou à « *un valet soumis à deux maîtres* » [41]. Cette image traduit la dépendance du genou vis-à-vis des articulations sus et sous-jacentes [41]. En effet, des altérations de la cinématique du pied et de la cheville (pronation, éversion, valgus, chute du naviculaire) [42, 43], de la hanche (adduction, rotation médiale, chute du bassin controlatéral) ou du tronc (inclinaison homolatérale) [44] participent au valgus du genou et au développement de contraintes et de symptômes FP. Une position du tronc trop érigée (mesurée au niveau de la hanche) augmente également les contraintes FP par rapport à une attitude plus fléchie [45]. Concernant la force musculaire, une faiblesse du quadriceps est un facteur de risque (FDR) de développer un SFP [13, 42]. Un retard de contraction du vaste latéral par rapport au vaste médial comme intervenant dans le SFP est discuté [46]. La littérature est partagée entre une force des abducteurs, rotateurs latéraux et extenseurs de hanche réduite [31] ou augmentée [13, 42] dans le cas du SFP. Des hypoextensibilités, notamment du quadriceps, augmentent les forces de réaction sur l'articulation FP et ainsi le risque de douleurs [40, 47]. La réduction de l'épaisseur du cartilage comme participant au SFP est aussi discutée [48, 49].

D'autres auteurs ont précisé l'importance de prendre en considération les facteurs psychologiques et sociaux dans la compréhension et le traitement de cette affection [29, 30]. Une revue systématique de Maclachlan et al. en 2017 [30] ou le modèle réalisé par Vicenzino en 2018 [29] rendent compte de la part de la psychologie dans le SFP. Des symptômes tels que l'anxiété, la dépression, le catastrophisme (anticipation négative extrême de la douleur qui l'amplifie et la rend menaçante) et la kinésiophobie (peur du mouvement) ont été associés au SFP [30]. En effet, au même titre que la lombalgie, les croyances et attitudes du patient vis-à-vis de la douleur sont non négligeables dans la chronicisation des douleurs [50]. Ainsi un patient

qui cesse toute activité dans une démarche d'évitement de la douleur aura une moins bonne récupération, des limitations d'activités et des restrictions de participation sociale importantes [50]. Les facteurs psychosociaux permettent d'expliquer certaines caractéristiques du SFP comme sa chronicité, son apparition atraumatique et souvent une mauvaise réponse aux traitements biomécaniques [29].

D'autres FDR dits extrinsèques peuvent aussi contribuer à la surutilisation et être associés à la survenue du SFP. Ils sont liés au type de sport, à la technique sportive et aux conditions d'entraînement [11].

En résumé, les FDR intrinsèques et extrinsèques à l'origine d'une augmentation du stress FP sont présentés dans le *Tableau I* ci-dessous.

FDR intrinsèques	FDR extrinsèques
Augmentation du stress fémoropatellaire	
Biologique : défaut d'engagement patellaire, d'alignement du genou, augmentation des forces de réaction patellaire	Augmentation de la force de réaction au sol : technique sportive
Valgus dynamique	Type d'activité, de sport
Faiblesse musculaire (quadriceps, abducteurs, rotateurs latéraux et extenseurs de hanche)	Modification des conditions d'entraînement : fréquence, durée, intensité
Hypoextensibilité musculaire (bandelette iliotibiale, quadriceps) ou ligamentaire (rétinaculum patellaire)	Type de surface
Raideur du MI lors de la réception d'un saut	Conditions environnementales, escaliers, pentes
Posture et cinématique du pied, de la hanche ou du tronc	Équipement : chaussures inadaptées, usées
Défaut d'alignement statique (rotation médiale de hanche excessive)	
Défauts anatomiques (patella alta, dysplasie de la trochlée fémorale)	
Psychosociaux : anxiété, dépression, catastrophisme, kinésiophobie	
Antécédents de blessure : subluxation, luxation patellaire, chirurgie	

Tableau I: Facteurs de risque (FDR) du SFP

1.1.5. Impact, évolution et pronostic du SFP

L'évolution de la douleur FP est souvent chronique. Une revue systématique indique que la durée des symptômes peut varier entre six mois et six ans suivant les études incluses [51]. Néanmoins, une autre étude montre que certains patients ont toujours des douleurs dix-huit ans après l'apparition des symptômes [52]. De plus, elle ne semble pas bien répondre aux traitements, et impacte les activités du patient [52–54].

Une revue systématique de 2016 synthétise les facteurs prédictifs de mauvaise réponse au traitement du SFP [55]. Plus la douleur est ancienne (supérieure à quatre mois), plus l'âge est avancé, plus l'intensité de douleur est importante et plus l'état fonctionnel est dégradé, moins bon sera le pronostic [55].

Le SFP est souvent corrélé avec un risque ultérieur de survenue d'arthrose FP [56, 57]. Néanmoins, cette corrélation reste débattue [56, 58]. Des changements structuraux chez les

personnes atteintes d'un SFP pourraient favoriser la survenue future d'arthrose [58]. Les preuves existantes à ce sujet sont développées en *Annexe VI*.

1.1.6. Recommandations pour les traitements masso-kinésithérapiques :

Les dernières recommandations concernant le SFP datent de 2018 [7] puis de 2019 [8]. La thérapie par l'exercice est recommandée en combinant à la fois des exercices de renforcement des muscles de la hanche et du genou [7, 8]. Les exercices peuvent être associés à la pose de tape sur la rotule, à de la thérapie manuelle ou au port d'orthèses plantaires [7, 8]. Néanmoins, les mobilisations isolées FP, du genou ou du rachis lombaire ainsi que les agents électrophysiques ne sont pas recommandés [7, 8].

Au vu, de l'importance de la participation des facteurs psychosociaux dans la chronicisation de la douleur FP, un repos total est déconseillé [24]. Un repos relatif accompagné de techniques de physiothérapie détaillées ci-dessus semblent pertinentes le temps de la phase aiguë, soit les six premières semaines [24]. Il s'agit d'un traitement symptomatique [24]. Au-delà de six semaines, lors de la phase subaiguë puis chronique après trois mois, traiter la cause des douleurs sera une priorité [24]. Bien que les causes du SFP soient multifactorielles, le FDR principal est un stress articulaire anormalement élevé [18]. Les charges externes comme le volume (nombre de séances), l'intensité, le matériel utilisé (chaussures...), le dénivelé devraient ainsi être adaptés pour une reprise optimale de la course à pied. Si ces paramètres ne suffisent pas, l'influence de la charge interne et des facteurs psychosociaux ne doit pas être négligée. Par exemple, la fatigue, le stress, la pression de compétition, le tabac, la motivation, l'alimentation et les traitements médicamenteux sont à prendre en compte.

Ensuite, le patron de course peut être modifié en présence d'un défaut apparent. Certaines techniques modifiant le schéma de course permettent de diminuer les contraintes articulaires qui sont les causes principales du SFP. D'après les dernières recommandations, l'efficacité de ces techniques est incertaine sur la douleur et la fonction [7, 8]. Toutefois, les experts recommandent d'adopter une attaque « avant-pied », d'augmenter la cadence ou de diminuer l'adduction de hanche lors de la course chez ces patients atteints de SFP [8]. Malgré des données limitées, ils préconisent l'utilisation de l'éducation du coureur ainsi que davantage de recherches concernant son efficacité [7, 8].

1.1.7. Les types de foulées chez le coureur

La course à pied est un sport très populaire à l'origine d'un nombre important de blessures. D'après une revue systématique de 2019, la prévalence des blessures dans ce sport est de 42,7%

[1]. L'analyse des foulées du coureur (développée en *Annexe I*) peut s'intéresser à l'impact du pied au sol [59]:

- La foulée « arrière pied » : « *le contact initial avec le sol se produit au niveau du talon ou de la partie postérieure du pied* »
- La foulée « milieu pied » : « *les parties postérieures et antérieures du pied touchent simultanément le sol* »
- La foulée « avant pied » : « *la région antérieure du pied touche le sol en premier* »

La foulée « arrière pied » chez 95% des coureurs récréatifs [60], 90% des sub-élites [61] et 75% des coureurs élites [62] est actuellement la plus répandue. Une hypothèse est que le développement de chaussures modernes depuis une cinquantaine d'années favoriserait cette foulée [4, 59]. La semelle plus épaisse de la chaussure maximaliste avec un drop important permet un atterrissage plus souple et agréable sur le talon [4, 59]. Le drop de la chaussure représenté en *Annexe I* est la différence de hauteur entre le talon et les orteils [63]. Ainsi courir sur une surface molle (ex : herbe) ou porter des chaussures maximalistes est plutôt associé à une foulée « arrière-pied » tandis que courir sur une surface dure avec des chaussures minimalistes entraîne une foulée « avant-pied » [64]. Les caractéristiques des chaussures minimalistes et maximalistes sont détaillées en *Annexe I*. Le passage d'une foulée « arrière-pied » à une foulée « avant-pied » serait un moyen de prévenir et traiter les blessures du membre inférieur. En effet, par un retour sensoriel et une musculature du pied plus importants, ce changement de foulée pourrait diminuer le risque de blessure [4]. Associée à des changements spatiotemporels et cinématiques, la foulée « avant-pied » permettrait également une absorption des forces d'impacts verticales, une économie d'énergie et de meilleures performances en course à pied (*Annexe I*) [4]. Néanmoins, passer à une attaque « avant-pied » n'est pas sans risque. Le stress imposé au triceps sural [59], et aux structures élastiques de l'arche plantaire [4] n'est pas négligeable et peut être traumatisant. Les structures osseuses peuvent aussi être touchées avec un risque de métatarsalgies et de fractures de fatigue accru des métatarses [4]. En cas de transition, elle se doit alors d'être progressive en intensité dans le temps et accompagnée d'un renforcement de la voûte plantaire et du mollet.

Le traitement par le changement de foulée doit être basé sur le modèle de l'EBP (Evidence Based Practice) défini par Sackett et al en 1996 [65]. Les meilleures données issues de la littérature, l'expertise du praticien, mais aussi les attentes et valeurs du patient doivent être prises en compte. Les dimensions psychologiques et sociales de la modification du patron de course développées en *Annexe VII* ne doivent ainsi pas être négligées. La façon de courir peut

varier en fonction de ses connaissances et de ses croyances. L'objectif peut aussi être esthétique, d'éviter des blessures ou de réaliser une performance.

1.1.8. Le changement de foulée et le biofeedback

Différentes techniques de biofeedback existent pour une transition vers une foulée « avant-pied ». Une revue systématique d'Agresta et al. en 2015 a montré que les techniques de biofeedback à la fois visuelles et auditives sont efficaces en temps réel [66]. Bien que les biofeedbacks visuels et auditifs n'aient pas montré de supériorité de l'un par rapport à l'autre, le biofeedback visuel nécessite du matériel comme un miroir ou un système de caméra [66]. Tandis que le biofeedback auditif consiste à donner instructions verbales au coureur, à écouter une musique avec un tempo, à suivre un métronome et à réduire le bruit lors de l'impact du pied au sol associé à une attaque talonnière [66–68]. L'avantage du biofeedback auditif est qu'il permet au coureur de s'exercer plus facilement et en autonomie [66]. Le métronome ou une musique rythmée peuvent permettre d'augmenter la cadence et de maintenir une vitesse fixée au préalable [66–68]. Une augmentation de la cadence ou une réduction du bruit lors de l'impact du pied au sol favorisent de manière indirecte l'attaque « avant-pied » (*Annexe I*) [3, 4]. Une augmentation de la cadence correspond à augmenter le nombre de pas sur un temps donné et à diminuer la longueur des foulées. Dans le but de diminuer la force de réaction verticale ou de modifier la foulée, le thérapeute peut donner des conseils indirects facilitant la transition comme « *faire des foulées plus courtes* », « *augmenter la flexion de genou* », « *faire le moins de bruit possible* », « *courir plus doucement* », « *courir sur la pointe des pieds* », « *frapper avec l'avant-pied* », « *ne pas frapper avec l'arrière-pied* » [66–68].

1.1.9. L'impact de la foulée sur les contraintes FP

Cinq études transversales [69–73], un ECR [74] et une étude cas-contrôle [75] ont étudié les répercussions d'un changement de foulée sur les contraintes FP. Les caractéristiques de ces études sont détaillées en *Annexe VIII*. Les interventions consistaient à modifier le chaussage du pied (pieds nus, chaussures minimalistes ou maximalistes) [69–71] et l'impact du pied au sol (avant/arrière-pied) [72, 75]. Une étude comparait le passage d'une attaque « avant-pied » à une augmentation de la cadence [73]. Une autre étude d'Esculier et al. laissait aux thérapeutes le choix entre faire passer les coureurs à une attaque « avant-pied », diminuer l'impact en demandant de courir plus doucement ou augmenter la cadence entre 7,5 et 10% [74]. Les résultats sont résumés dans le *Tableau II*. Ainsi, à l'exception de l'étude d'Esculier et al. toutes les interventions diminuaient significativement les contraintes sur l'articulation FP [70–76].

Cette différence dans l'étude d'Esculier et al. est sûrement le résultat d'un défaut de rigueur dans le changement de foulée proposé aux coureurs [74]. En effet, les autres études ont montré une réduction significative des forces de contact FP (FCF) (force du quadriceps à l'impact multiplié par une constante) de 10% à 22,38% et des forces de pression FP (FPF) (force de contact FP divisée par la surface de contact FP) de 10,12% à 21,38% [69–73, 75].

	FCF (BW)	FPF (Mpa)
<u>Attaque avant-pied</u>		
Kulmala 2013	-15,70%*	-14,61%*
Vannatta 2015	NC	-21,38%*
Willson 2015	-10%*	-10,53%*
<u>Augmentation de la cadence 10%</u>		
Willson 2015	-15%*	-12,28%*
<u>Attaque avant-pied ou augmentation de la cadence (7,5-10%)</u>		
Esculier 2017	-12,3%	NC
<u>Course pied nu</u>		
Bonacci 2014	-11,65%*	-11,65%*
Sinclair 2014	-22,38%*	-10,12%*
<u>Chaussures minimalistes</u>		
Sinclair 2016	-17,66%*	-13,11%*

Tableau II: Impact de la foulée minimaliste sur les contraintes fémoropatellaires
(NC : Non communiqué, FCF : Force de contact fémoropatellaire, FPF : force de pression fémoropatellaire, * : résultat statistiquement significatif)

Cependant, les forces de contact et de pression FP sont-elles corrélées à la douleur ?

Trois séries de cas transversales ont étudié la corrélation entre les forces de pression au sein de l'articulation et les douleurs FP [20, 77, 78]. Dans la première étude, les participants souffrant d'un SFP ont présenté des pressions significativement plus importantes lors de la marche rapide comparativement au groupe témoin [20]. Pour la marche lente, bien que les résultats ne soient pas significatifs, la pression moyenne était 2,5 fois plus élevée que dans le groupe témoin [20]. L'intégrale de la pression par rapport au temps était significativement supérieure pour la marche rapide et pour la marche lente dans le groupe douloureux par rapport aux sujets sains [20]. Néanmoins dans les deux autres études, les résultats n'étaient pas statistiquement significatifs concernant la montée et la descente des escaliers [78] ou lors de la course à pied [77]. Du fait qu'il s'agit d'études rétrospectives au diagnostic de SFP, des stratégies compensatoires ont pu être développées afin de réduire le stress sur l'articulation lors d'activités sources de douleurs comme les escaliers ou la course à pied. La corrélation entre la pression FP et la douleur n'est donc pas clairement définie à ce jour, mais semble y participer.

1.1.10. Définition de la foulée minimaliste

Les interventions précédentes visant à réduire les contraintes sur le squelette sont souvent rassemblées sous le terme de foulée minimaliste [70–76]. La foulée minimaliste n'a cependant pas été clairement définie dans la littérature. J'ai donc décidé de proposer une définition : « La

foulée minimaliste est une technique de course qui optimiserait les contraintes sur le squelette par une réduction des forces d'impact verticales. Une attaque « avant ou médio-pied », une cadence élevée, un impact modéré (faire le moins de bruit possible, courir doucement), le port de chaussures minimalistes ou le fait de courir pieds nus y contribueraient. »

1.1.11. L'éducation

Malgré des données limitées, les experts du SFP recommandent l'éducation comme essentielle dans la prise en charge du SFP [7]. Des ressources utiles à l'éducation se trouvent en *Annexe IX*.

L'éducation consiste d'abord à expliquer au patient l'importance de l'observance du traitement, les causes possibles de la douleur, et sa prise en charge.

L'éducation à la douleur est essentielle afin de réduire le risque de chronicisation. Le thérapeute doit prendre en compte les facteurs psychosociaux afin de lutter contre les croyances erronées, de répondre aux craintes et à l'anxiété du patient [7, 29, 30, 79].

Il est également important de faire comprendre au patient la notion de la quantification du stress mécanique (en *Annexe III*). Le stress étant un FDR important dans la genèse du SFP [18], un repos relatif est bénéfique dans un premier temps pour diminuer la douleur [28]. Il faut cependant éviter un arrêt total des activités car cela participe au développement de la peur du mouvement et au catastrophisme de la douleur [30]. Le stress devra ensuite être réintroduit progressivement car il est bénéfique pour la consolidation du système musculosquelettique [80]. Toutefois, un stress mécanique trop important fragilise les tissus et contribue au développement de blessures de surutilisation [80]. Il faut donc trouver un intermédiaire.

La foulée minimaliste pourrait permettre au coureur atteint d'un SFP de continuer son sport avec des contraintes modérées, moins de douleurs et ainsi réduire le risque de chronicité. Apprendre au patient les différentes stratégies permettrait de voir avec lui celle qui correspondrait le plus en fonction de ses attentes, ses préférences, ses objectifs, ses capacités physiques, et de ses comorbidités.

Enfin, le patient doit expliquer ce qu'il a retenu de l'éducation réalisée par le thérapeute [81].

1.2. Manques dans la littérature et pertinence de la question d'investigation

La foulée minimaliste semble diminuer les contraintes sur l'articulation FP [69–73, 75]. Or la surcharge mécanique de cette articulation est un FDR majeur dans l'étiologie du SFP. Le changement de foulée pourrait donc réduire les douleurs FP, en plus des contraintes. Les recommandations concernant le SFP encouragent davantage de recherches à ce sujet [7, 8].

Aucune revue à ce jour n'étudie l'impact de la foulée minimaliste sur la douleur FP. Du fait de l'importance des facteurs psychosociaux dans le développement de ces douleurs, un repos total est déconseillé car il participe à la chronicisation de la douleur [29, 30]. Poursuivre la course à pied et l'adapter en vue de diminuer les contraintes et les douleurs semble donc être une alternative intéressante. Concernant les données épidémiologiques, le SFP atteint majoritairement les personnes actives et jeunes [13]. Dans le cadre ce travail, la population étudiée a alors été réduite à l'adulte actif atteint d'un SFP afin d'écarter des douleurs résiduelles liées à l'adolescence ou à l'arthrose FP chez l'adulte âgé. L'impact avant-pied, la réduction du bruit lors de l'impact du pied au sol, l'augmentation de la cadence et le port de chaussures minimalistes ont été définis comme les interventions prédominantes pour réduire les contraintes FP [69–73, 75]. L'éducation du patient à la course est alors nécessaire pour lui apprendre les techniques favorisant la foulée minimaliste et ainsi personnaliser la prise en charge à chaque patient. Selon les résultats, inclure ces différentes stratégies permettra peut-être de comparer leurs efficacités sur la diminution de la douleur FP.

La problématique finale est alors devenue :

« Quelles sont les retombées du passage à une foulée minimaliste sur l'intensité de la douleur chez l'adulte coureur atteint d'un syndrome fémoropatellaire ? »

1.3. Objectifs de la revue

L'objectif principal de cette revue est d'étudier les retombées de la foulée minimaliste sur l'intensité de la douleur chez l'adulte coureur atteint d'un SFP en synthétisant les preuves existantes à ce sujet. L'objectif secondaire est d'analyser l'impact sur la fonction et la perception de la gêne au cours de ses activités. La fonction donne alors une estimation de la qualité de vie. Une meilleure performance en course à pied que ce soit en distance, en vitesse ou en durée, complète aussi les deux critères de jugements précédents.

Les hypothèses concernant les résultats attendus sont : une diminution de la douleur, une amélioration de la fonction et de la performance à court terme, suite au passage à une foulée minimaliste. À long terme, peu de résultats sont à prévoir du fait de la complexité de réalisation du suivi des études. Des blessures indésirables peuvent être envisagées dans le cas d'une transition non progressive ou non préparée.

2. Corps de mémoire : Une revue systématique

2.1. Méthode de recherche

2.1.1. Protocole

Les lignes directrices PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses*) écrites par Moher et al. en 2009 ont été suivies pour la construction de la revue systématique. La traduction française complétée pour notre étude est consultable en *Annexe X*.

2.1.2. Les critères d'éligibilité

Les critères d'éligibilité ont été définis grâce à la méthode PICOS (*Population, Intervention, Comparaison, Outcomes, Source*). La méthode PICO a été décrite par Schardt et al. en 2007 [82]. Plus tard, un « S » a été ajouté afin d'inclure la source (le design) de l'étude [83].

Dans le cadre de cette revue, la *population* a été limitée aux coureurs actifs, adultes, âgés entre 18 ans et 45 ans. Les patients jeunes et actifs plus susceptibles d'être atteints d'un SFP ont donc bien été considérés dans cette revue [14]. Cependant alors que les adolescents sont souvent touchés par le SFP, l'âge minimum de 18 ans a permis d'écarter les douleurs résiduelles dues à la croissance. Tandis que l'âge maximum de 45 ans a réduit le risque confusion dans le diagnostic entre le SFP et l'arthrose FP. L'âge limite de 45 ans correspond à l'âge inférieur requis des personnes pour participer à l'étude épidémiologique sur l'arthrose du genou (fémoropatellaire et fémorotibiale) de Lankhorst et al. en 2017 [84]. Le niveau de course, le type de foulée initial, l'ancienneté des douleurs (aigue, subaiguë, chronique), et la localisation (unilatérale ou bilatérale) ont été laissés au libre choix des auteurs. Le but était d'augmenter la validité externe et l'applicabilité des résultats, d'évaluer l'efficacité de l'intervention en fonction des différentes caractéristiques et enfin de ne pas restreindre le nombre d'études à inclure.

L'*intervention* devait modifier le patron de course pour passer à une foulée minimaliste sur un tapis de course ou en extérieur. L'intervention devait favoriser l'attaque avant-pied ou médio-pied, diminuer l'impact du pied au sol, augmenter la cadence ou faire porter des chaussures minimalistes aux coureurs avec un biofeedback visuel ou auditif. La posologie et la durée de l'étude ont été laissées au libre choix des auteurs afin de voir leurs influences sur les résultats et de ne pas restreindre la sélection des articles.

La *comparaison* pouvait être une absence de traitement, un groupe contrôle courant sans rétroaction ou consigne particulière, une autre intervention ou un traitement ajouté en plus du

changement de foulée. Les études comparant l'état des symptômes avant et après l'intervention ont également été incluses.

Pour l'*outcome*, la variation de l'intensité de la douleur exprimée par le patient suite à l'intervention a été retenue comme critère de jugement principal. L'horaire et le niveau de douleur mesuré ont été laissés au libre choix des auteurs. La douleur pouvait donc être mesurée à l'état de repos, en lien avec la course à pied (augmentation de la douleur pendant et/ou après la course) ou non. Ensuite, si mentionnées dans les études, la fonction, la variation de la perception de la gêne dans les activités du patient et la performance en course à pied ont été définis comme critères secondaires. Le choix de l'échelle a été laissé aux auteurs.

Concernant la *conception de l'étude*, les essais randomisés contrôlés (ECR) ont été préférés pour des résultats de meilleure qualité. Néanmoins, si leurs qualités faisaient défaut ou en cas d'un nombre limité d'ECR répondant aux critères d'éligibilité, des études de qualité inférieure ont pu être acceptées. Les séries de cas ont également été incluses afin de comparer l'effet d'une thérapeutique avant/après l'intervention et non par rapport à un autre groupe comparateur. Les articles de niveaux supérieurs étant souvent traduits en anglais, les articles ont été exclusivement recherchés dans cette langue. De plus, les années de publication n'ont pas été limitées afin de ne pas manquer d'études utiles à notre revue.

2.1.3. Les bases de données

Les recherches ont été réalisées en anglais dans les bases de données suivantes : Pubmed, Sciencedirect, Rehab+, PEDro et la Cochrane ainsi que dans le moteur de recherche Google Scholar. Au nombre de six, elles ont permis de réaliser une recherche la plus large et exhaustive possible. La littérature grise a également été consultée afin de limiter les biais de publication notamment dans la base de données Kinédoc. La dernière sélection date du 17 novembre 2019. Une recherche a été réalisée sur les bases de données Prospero, Clinicaltrials.gov et HAL qui répertorient les articles publiés, mais aussi ceux à venir afin de vérifier qu'aucune étude en cours n'ait la même problématique que celle de cette revue.

2.1.4. Recherche : mots clés et équations

Les mots clés utilisés pour introduire la *population* de coureurs adultes et de niveaux hétérogènes ont été les suivants « runners », « recreational runners », « competitive runners », « highly trained runners », « adult ». Pour introduire la notion de la pathologie : « patellofemoral pain », « patellofemoral syndrome », « anterior knee pain ». Concernant l'*intervention*: « running retraining », « gait retraining », « minimalist », « forefoot pattern »,

« midfoot pattern », « strike pattern », « rate », « pace », « footwear », « shoes ». Pour ce qui est de *l'outcome primaire* : « pain » et « intensity ».

Des opérateurs booléens « AND » et « OR » ont été placés entre chaque mot clé pour les bases de données qui le permettaient. L'opérateur booléen « NOT » a été utilisé afin d'exclure d'autres pathologies comme l'arthrose FP « osteoarthritis » ou la chondromalacie rotulienne « chondromalacia ». Dans le cas contraire, plusieurs équations comprenant les différents mots-clés ont été réalisées afin d'obtenir un maximum d'articles correspondants. Le *Tableau III* renseigne les équations de recherche utilisées. Ensuite, une recherche complémentaire a été effectuée dans la bibliographie des articles retenus.

Méthode PICO	Equations de recherche	Bases de données
Population	Niveau de course Runners OR Recreational runners OR Competitive runners OR Highly trained runners Pathologie Patellofemoral pain OR Patellofemoral syndrome OR anterior knee pain NOT osteoarthritis NOT chondromalacia Age Adult	Pubmed Sciencedirect Google Scholar Rehab+ PEDro la Cochrane
Intervention	Running retraining OR Gait retraining OR Minimalist OR Forefoot pattern OR Midfoot pattern OR strike pattern OR Rate OR Pace OR footwear OR shoes	
Outcome	Pain intensity	

Tableau III: Méthode de recherche afin de répondre à la revue

2.1.5. Sélection des études

Les bases de données et la littérature grise ont permis d'abord d'identifier des articles qui ont ensuite été enregistrés sur Zotero®, un logiciel de gestion des références bibliographiques. Une première sélection des articles a été faite en supprimant les doublons. Une deuxième sélection a suivi en lisant les titres et résumés. Enfin lors de la troisième sélection, les articles conservés ont été lus en entier. Ceux inclus devaient répondre aux critères d'éligibilités définis précédemment selon la méthode PICOS. Les critères d'exclusion étant :

- Une population qui ne présentait pas de SFP ou qui présentait une autre pathologie concomitante de type neurologique ou orthopédique du membre inférieur.
- Si les douleurs sont apparues suite à un évènement traumatique récent ou en cas d'atteinte arthrosique du genou, de chondromalacie rotulienne, de luxation rotulienne ou de fracture de la rotule.
- Une population non coureuse, âgée de moins de 18 ans ou de plus de 45 ans.
- Une intervention qui ne consistait pas à passer à une foulée minimaliste.
- Si la douleur n'était pas évaluée
- Si l'étude était inachevée ou introuvable.

2.1.6. L'extraction des données

Les données des articles retenus ont été rentrées dans un tableau comportant les noms des auteurs, l'année de publication et le titre. La méthode y est également inscrite et résume les caractéristiques des participants, l'intervention réalisée, les comparaisons établies et les résultats obtenus. Les résultats comportent le niveau de douleur et si mesurées, la fonction et la performance en course à pied.

2.1.7. Évaluation du risque de biais

L'évaluation des biais a été réalisée par un seul examinateur. Les niveaux de preuve ont été attribués aux études incluses à partir de la version française de l'échelle National Health and Medical Research Council de 2009 (NHMRC) en *Annexe XI*. À partir du type de question clinique et du design de l'étude, cette échelle a permis de hiérarchiser les études incluses en fonction de leurs qualités et de la cohérence de leurs résultats.

L'échelle Downs and Blacks de 1998 (traduite, modifiée et renseignée en *Annexe XII*) a été utilisée pour mesurer la qualité de construction méthodologique des études incluses dans la revue [85]. Dans la cadre de cette revue, le dernier item 27 de l'échelle a été modifié par manque de clarté : une analyse de puissance a-t-elle été réalisée dans l'étude (oui ou non) ? L'échelle modifiée est alors composée de vingt-sept items sur un total de vingt-huit points maximums. Cette dernière permet de donner des résultats qualitatifs et quantitatifs des forces et faiblesses méthodologiques des études. L'échelle a facilité la comparaison des études incluses, de conceptions différentes, grâce à une seule évaluation. Elle prend en compte la qualité de l'étude, la validité externe (la capacité de généraliser les résultats de l'étude [86]), les biais de l'étude (intervention et résultats), les biais de confusion et de sélection (échantillonnage et randomisation) et la puissance de l'étude (la probabilité avant de réaliser l'étude de ne pas rejeter l'efficacité de l'intervention lorsque cette dernière est réellement efficace [87]) [85]. De plus, cette échelle présente une excellente fiabilité inter-évaluateur (Coefficient de corrélation de Spearman = 0,88) et une bonne fiabilité intra-évaluateur (Coefficient de corrélation de Spearman = 0,75) [85]. Les résultats sont donc sensiblement les mêmes lorsque l'évaluation est réalisée par plusieurs évaluateurs, mais aussi lorsqu'elle est faite plusieurs fois par le même examinateur.

Enfin, l'utilisation de la grille d'évaluation R-AMSTAR (Revised Assessment of Multiple Systematic Reviews) développée par Kung et al., en 2010 a permis d'évaluer la qualité méthodologique de cette revue systématique (*Annexe XIII*) [88].

2.1.8. Quantification des résultats

Les résultats ont été synthétisés à l'aide de données statistiques. Les moyennes, les différences de moyennes (DM) ont permis de quantifier les variations d'intensité de la douleur et de la fonction. Les DM devaient être supérieures à la différence minimale cliniquement importante (DMCI) pour avoir un intérêt clinique. Il s'agit de la plus petite différence estimée comme importante pour les patients. En effet, un traitement peut montrer des résultats, mais ces derniers peuvent ne pas être suffisamment importants pour être pertinents pour le patient. Les intervalles de confiance à 95% ont permis d'estimer la variation d'un paramètre avec 95% de chance. Afin d'estimer la part du hasard dans l'intervention, la p-value (p) a aussi été indiquée. Elle permet de conclure si les résultats obtenus sont dus à la modification de la foulée chez le coureur ou seulement à l'effet du hasard. En dessous de 5%, les résultats sont alors « statistiquement significatifs » tandis qu'au-dessus, on ne peut pas en déterminer l'efficacité. La taille d'effet η^2 et le d de Cohen sont des grandeurs sans unité de mesure. Elles permettent de mesurer dans certains des articles la force de l'effet observé de l'intervention par rapport au temps. Le d de Cohen a été interprété comme négligeable ($< 0,2$), faible ($>0,2$), moyen ($>0,5$), grand ($>0,8$) et très grand ($>1,3$) [89]. Des analyses de variance des mesures répétées (groupe \times temps) ont été utilisées dans certaines études. Ces analyses permettent de comparer les effets de différentes interventions à un instant t et les résultats d'une intervention dans le temps.

2.1.9. Synthèse des résultats

Les données concernant la méthodologie, l'intervention évaluée et les résultats sont présentés sous forme d'une synthèse descriptive et qualitative pour chaque étude. Les études ont été regroupées selon leurs interventions afin de montrer leurs efficacités relatives. La partie résultat exploite ensuite les scores intragroupes et intergroupes afin de mesurer l'impact de la foulée minimaliste sur la douleur FP. Selon les études, des données sur les scores fonctionnels et la performance en course à pied ont aussi été analysées. Les résultats n'ont pas pu être interprétés dans une méta-analyse du fait du nombre limité et d'un défaut d'homogénéité des études incluses.

2.2. Résultats : recueil des informations issues de la littérature

2.2.1. Sélection des études

La sélection des études est résumée dans le diagramme de flux ci-dessous. Elle s'est déroulée en trois étapes. D'abord, cent-quatre-vingt-dix-huit articles ont été trouvés grâce aux équations de recherche dans les bases de données et deux dans la littérature grise (mémoire, podcast). Un premier tri a été réalisé en supprimant les doublons. Ensuite, le deuxième tri a consisté à lire les titres et résumés des cent-quarante-quatre articles conservés. Les articles devaient répondre aux critères d'éligibilité détaillés plus haut. Enfin, un troisième tri a été effectué après lecture en entier des neuf articles restants. Deux articles ont alors été exclus. Le premier, car l'article n'était pas trouvable en entier. Le deuxième, car les participants n'étaient pas atteints d'un SFP ce qui n'était pas évident à la lecture seule de l'abstract. Ainsi, sept articles soit quatre ECR [67, 68, 74, 76] et trois séries de cas [90–92] ont été conservés pour la revue. Les séries de cas n'ont pas été exclues du fait d'un nombre limité d'ECR.

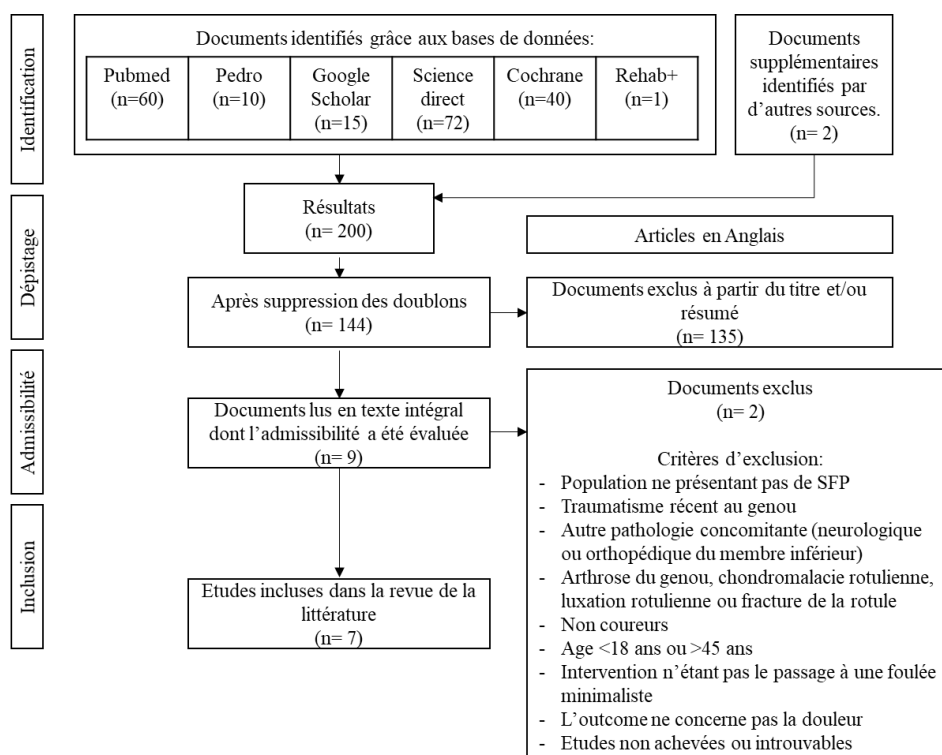


Figure IV: Diagramme de flux de la recherche d'articles

2.2.2. Caractéristiques des études

Les études retenues pour cette revue sont relativement récentes datant de 2011 à 2019 [67, 68, 74, 76, 90–92]. Elles ont été réalisées aux Etats-Unis [67], en Chine [90], au Royaume-Uni [91, 92], au Brésil [68], au Canada [74] et en Australie [76]. Deux études ont examiné

l'impact de l'attaque du pied au sol sur la douleur FP [67, 90]. Deux autres études se sont intéressées à l'augmentation de la cadence [91, 92]. Deux autres études ont utilisé à la fois l'augmentation de la cadence et l'attaque « avant-pied » pour obtenir une foulée minimaliste [68, 74]. Enfin, la dernière étude a associé l'augmentation de la cadence et le port de chaussures minimalistes [76]. Leurs caractéristiques sont présentées ci-dessous de manière synthétique et sont détaillées de manière exhaustive dans le *Tableau IV*. Les échelles utilisées sont en Annexe.

Attaque « avant-pied »

Deux études ont regardé spécifiquement le passage à une foulée « avant-pied » chez des coureurs ayant une attaque naturelle « arrière-pied » [67, 90]. Il s'agit d'un ECR de Roper et al., 2016 [67] et d'une série de cas de Cheung et al., 2011 [90]. Seize coureurs récréatifs (onze femmes et cinq hommes) ont été inclus dans l'ECR [67] contre seulement trois coureuses dans la série de cas [90]. Ils souffraient tous de douleurs FP chroniques [67, 90].

Les deux interventions se sont déroulées sur huit séances réparties sur deux semaines soit quatre séances par semaine [67, 90]. L'ECR de Roper et al. a comparé le passage à une foulée avant-pied chez huit coureurs par rapport à un groupe témoin de huit autres coureurs [67]. Le groupe témoin courait selon la même posologie sur un tapis de course sans rétroaction avec leur frappe naturelle arrière-pied [67]. La série de cas était une étude prospective longitudinale qui comparait les résultats d'une foulée naturelle « arrière-pied » (avant l'intervention) à une attaque « avant-pied » (après l'intervention) [90].

L'ECR de Roper et al., 2016 a évalué la douleur pendant et/ou après la course grâce à « l'échelle visuelle analogique » (EVA) sur dix centimètres [67]. La série de cas a utilisé deux échelles spécifiques au SFP : « Patellofemoral Pain Syndrome Severity Scale » (PSS) pour la douleur et « Kujala » également appelée « Anterior Knee Pain Scale » (AKPS) pour la douleur et les capacités fonctionnelles [90]. Enfin, la série de cas a mesuré la performance par le meilleur temps accompli pour faire une course de dix kilomètres au cours du mois précédent [90]. L'évaluation était réalisée avant puis après l'intervention (à deux semaines) dans les deux études [67, 90]. Elle a également été faite à distance du traitement soit après un mois dans l'ECR et trois mois dans la série de cas [67, 90].

Augmentation de la cadence de 7,5% et 10%

Deux séries de cas prospectives longitudinales ont étudié l'impact d'une augmentation de la cadence du coureur sur les symptômes FP [91, 92]. L'étude de Neal et al., 2018 était constituée de dix coureurs (quatre hommes et six femmes) [91] contre douze (huit femmes, quatre hommes) dans celle de Bramah et al., 2019 [92]. Ils souffraient de douleurs FP chroniques dans les deux études.

L'intervention consistait à augmenter la cadence respectivement de 7,5% et de 10% dans les études de Neal et al. [91] et de Bramah et al. [92] par rapport à leur cadence habituelle. La comparaison était faite entre les résultats avant et après intervention pour les deux études [91, 92]. Neal et al. ont proposé dix-huit séances réparties sur six semaines soit trois par semaine [91]. Tandis qu'une seule séance de dix minutes sur tapis de course suivie d'un programme d'auto-supervision (à l'aide d'un métronome et d'une montre GPS) pendant quatre semaines ont été jugés nécessaires dans l'étude de Bramah et al. [92].

La douleur a été évaluée sur l'EN de dix points dans les deux séries de cas [91, 92]. La pire douleur et la douleur moyenne au cours de la semaine précédente ont été renseignées avant puis après l'intervention (six semaines) dans la série de cas de Neal et al. [91]. Dans l'étude de Bramah et al., seule la pire douleur au cours de la semaine précédente était demandée avant, après l'intervention (quatre semaines) puis après trois mois de suivi [92]. Afin de mesurer la fonction, les échelles « Kujala » et « The Lower Extremity Functional Scale » (LEFS /80 points) ont été respectivement utilisées dans les séries de cas de Neal et al., 2018 et de Bramah et al., 2019 [91, 92]. Les coureurs déclaraient également leur plus longue distance de course sans douleur et leur distance de course hebdomadaire dans l'étude de Bramah et al., 2019 [92].

Augmentation de la cadence et passage à une attaque « avant-pied »

Deux ECR ont étudié à la fois l'effet d'une augmentation de la cadence et le passage à une foulée « avant-pied » chez des coureurs souffrant d'un SFP chronique [68, 74]. Dix-huit coureurs (neuf femmes et neuf hommes) de niveau récréatif ont accepté de participer à l'étude de Dos Santos et al., 2019 [68]. Le nombre de coureurs dans l'ECR d'Esculier et al., 2017 était bien supérieur avec soixante-neuf adultes (quarante-trois femmes et vingt-six hommes), de niveau récréatif [74].

Dos Santos et al. ont comparé l'efficacité du passage à une foulée « avant-pied », d'une augmentation de la cadence de 10% et d'une augmentation de la flexion du tronc [68]. Ainsi selon une randomisation aléatoire, les sujets ont été répartis en trois groupes de six [68]. Esculier et al. ont également réparti leurs sujets de façon aléatoire en trois groupes de vingt-trois sujets chacun [74]. Le premier groupe a reçu de l'éducation sur la gestion des contraintes à la course et les modifications de l'entraînement en fonction de leurs symptômes [74]. Les deux autres groupes ont également reçu de l'éducation mais associée à des exercices de renforcement pour le deuxième groupe et une modification du patron de course dans le troisième [74]. La modification du patron de course était ajustée en fonction du patient et de ce que jugeait nécessaire le physiothérapeute [74]. Cela consistait soit à augmenter la fréquence de pas de 7,5 à 10%, soit à modifier l'attaque du pied au sol, soit à demander de courir plus doucement [74].

Comme les études précédemment citées de Roper et al., 2016 et de Cheung et al., 2011, Dos Santos et al. ont choisi la même posologie [67, 68, 90]. Les coureurs ont suivi huit séances sur deux semaines soit quatre séances par semaine [68]. Pour leur étude, Esculier et al. ont préféré réduire le nombre total de séances à cinq et les répartir sur une période plus longue soit de huit semaines [74]. Ils diminuaient ainsi la fréquence de la charge imposée.

L'ECR de Dos Santos et al., 2019 évaluait à la fois la douleur et les limitations fonctionnelles au début, à la fin de l'intervention et après six mois [68]. Les coureurs ont d'abord signalé la pire intensité de leurs douleurs sur l'EVA de dix centimètres [68]. Puis les échelles « Kujala » et LEFS ont permis d'évaluer les aptitudes fonctionnelles [68]. L'évaluation dans l'ECR d'Esculier et al., 2017 s'est déroulée sur cinq mois soit au début de l'intervention, à quatre semaines (au milieu), à huit semaines (à la fin de l'intervention) et à vingt semaines (à distance de l'intervention) [74]. Ils demandaient de désigner sur l'EVA la douleur habituelle, la pire douleur et la douleur durant la course aux participants de l'étude [74]. Pour les limitations fonctionnelles, il s'agissait de la version française de l'échelle KOS-ADLS [74].

Augmentation de la cadence et port de chaussures minimalistes

Un ECR de Bonacci et al., 2017 s'est intéressé aux répercussions d'une augmentation de la cadence de 10% et du port de chaussures minimalistes chez les personnes souffrant de SFP [76]. Seize coureurs récréatifs (douze femmes et quatre hommes) souffrant de douleurs FP subaiguës (de plus de six semaines) ont accepté de participer à l'étude [76].

Les sujets inclus dans l'étude étaient répartis selon une randomisation aléatoire entre deux groupes de sept personnes chacun [76]. Le premier groupe augmentait sa cadence de 10% en plus de porter des chaussures minimalistes standardisées [76]. Le deuxième portait des orthèses plantaires préfabriquées [76]. La modification de la foulée s'est réalisée sur un total de dix séances sur six semaines réparties de la façon suivante : deux fois par semaine pendant quatre semaines puis une fois par semaine pendant deux semaines [76]. Les séances sur tapis de course représentaient seulement 20% du temps de course par semaine [76]. Les 80% du temps restant, ils couraient sans supervision dans les chaussures habituelles avec un métronome (les cinq premières semaines) [76].

Les résultats ont été comparés entre le début de l'intervention et après douze semaines [76]. La pire douleur et la douleur moyenne au cours de la semaine précédente ont été renseignées sur l'EVA sur cent millimètres [76]. L'échelle « Kujala » ainsi que l'échelle d'évaluation du changement global sur quinze points ont permis de mesurer une différence de douleur et de limitation fonctionnelle [76]. Ils ont également demandé la distance de course hebdomadaire des participants [76].

2.2.2.1. Descriptif des échelles FP

Les échelles utilisées pour mesurer les douleurs FP sont l'EVA, l'EN et PSS. D'abord l'EVA (*en Annexe XIV*) évalue l'intensité de la douleur sur une échelle de dix centimètres : zéro étant décrit comme aucune douleur et dix la pire douleur imaginable [67, 68, 74, 76]. La DMCI est de 1,5 cm pour les douleurs moyennes et de 2,0 cm pour les pires douleurs [93]. Aucune étude n'a encore déterminé la DMCI pour les douleurs liées à la course. Nous avons supposé qu'elle est similaire à celle des pires douleurs et l'avons donc établie à 2,0 cm. De même sur l'EN de dix points, zéro correspond à une absence de douleur et dix à la pire douleur imaginable [91, 92]. La DMCI est une réduction de 1,2 points pour les pires douleurs sur l'EN [94]. N'ayant pas été calculée pour les douleurs moyennes, nous avons également fixé la DMCI à 1,2 points. Une troisième échelle spécifique au SFP, PSS (*en Annexe XV*) évalue la douleur au cours de dix activités entre zéro (état normal du genou) et cent centimètres (pire état) [90]. Le système d'évaluation est le même qu'une autre échelle d'évaluation de la douleur liée à l'activité utilisant six EVA de dix centimètres [93]. Or les six activités dans cette dernière échelle (VAS-activity) font parties des dix mesurées dans l'échelle PSS. La DMCI de VAS-activity étant de 8 cm, celle de l'échelle PSS a été estimée proportionnellement à 13,3 cm ($8\text{cm} \times 10/6$) [93].

Afin d'évaluer la douleur et les capacités fonctionnelles, le score sur l'échelle « Kujala » (ou AKPS) (*en Annexe XVI*) varie de zéro (pire) à cent (genou normal sans symptôme et sans restriction des fonctions quotidiennes) et indique la gravité du SFP [68, 76, 90, 91]. La DMCI est entre 8 et 10 points pour cette échelle [93]. Nous l'avons fixée à 10 points dans cette revue afin de simplifier l'analyse. De même sur l'échelle KOS-ADLS (*en Annexe XVII*), un taux de 100% désigne une absence de douleur et de limitation fonctionnelle [74]. La DMCI est de 13,6 points [93]. Pour l'échelle LEFS (*en Annexe XVIII*) la DMCI est de 9 points [95]. Son score maximal est de 80 points et elle mesure la capacité à accomplir vingt tâches de la vie quotidienne (y compris l'accroupissement, la marche et la course) [68, 92]. Enfin l'échelle d'évaluation du changement global sur quinze points donne une estimation des variations de douleur et de limitation fonctionnelle [76]. Cette dernière varie de -7 ("bien pire") à 0 ("pas de changement") à +4 ("modérément meilleur") et à +7 ("beaucoup mieux") [76].

Dans les résultats, une réduction des scores sur les trois échelles de douleur (EVA, EN et PSS) est caractérisée par une différence intragroupe (avant - après l'intervention) positive. Tandis qu'une amélioration des scores fonctionnels (Kujala, LEFS, KOS-ADLS) donne une différence de moyenne négative.

Auteur, année, design, pays, titre	Population	Intervention	Comparaison	Douleur	Fonction	Performance	Evènements indésirables
Attaque avant-pied							
Roper, 2016 ECR Etats-Unis The effects of gait retraining in runners with patellofemoral pain	n=16 coureurs (11 femmes et 5 hommes) Niveau : récréatifs Distance de course moyenne km/sem: 30,685 km Âge moyen : Groupe 1 : 24,63 +/- 5,58 ans Groupe 2 : 21,5 +/- 1,78 ans Douleur FP Chronique Légère à modérée : EVA entre 3-7/10 Foulée : attaque naturelle arrière-pied	Randomisation aléatoire : 2 groupes Sujets non aveuglés. 8 séances (4/sem), 2 semaines Temps de course progressif de 15 à 30 min à leur rythme sur tapis roulant Interdiction de courir en dehors des séances Des chaussures neuves standardisées plutôt maximalistes Groupe 1 : Passage à une foulée avant-pied (n=8) Biofeedback visuel (miroir) et auditif (« courez sur vos orteils », « courez sur la pointe de pieds ») les 4 premières séances puis progressivement supprimé.	Groupe 2 : Course 30 min sur tapis roulant sans rétroaction (n=8)	Réduction significative et cliniquement importante de la douleur. Amélioration qui a persisté au suivi (1 mois). EVA/10 : pendant et/ou après la course (DMCI : 2 cm) Foulée avant-pied (p=0,031 ; >DMCI ; η²= 0,29) Après (T2) : DM = 4,3 (81%) (IC95% : 3,1 à 5,3) 1 mois : DM= 4,3 (81%) (IC95% : 3,2 à 5,3) Témoin : (p>0,05 ; <DMCI) Après (T2) : DM=1,4 (33%) 1 mois : DM=0,4 (7%) Intergroupe : (>DMCI) DM= 2,9 cm	NC	NC	Groupe 1 : Une douleur au mollet lors de l'intervention, atténuée à la 6 ^{ème} séance. Deux sujets ont eu des douleurs à la cheville après un mois atténuées avec le repos.
Cheung 2011 Série de cas prospective longitudinale Chine Landing Pattern Modification to Improve Patellofemoral Pain in Runners	n=3 coureuses Niveau : club de course local Expérience de course : 3-5 ans Distance de course : 29,03 km/sem Âge : 26-32 ans SFP > 12 mois Douleur FP Unilatérale Depuis 2,5 à 4 ans Kujala entre 72-87% PSS entre 22,4-41% Foulée : attaque naturelle arrière-pied	Passage à une foulée minimaliste (n=3) 8 séances (4/sem), 2 semaines Temps de course progressif de 15 à 30 min à leur rythme sur tapis roulant Interdiction de courir en dehors des séances Biofeedback auditif les 4 premières séances puis progressivement supprimé : éliminer le bruit de l'avertisseur sonore, raccourcir la longueur des foulées, éviter atterrissage sur l'arrière-pied Port de chaussures standardisées plutôt maximalistes.	Avant / après l'intervention	Réduction de la douleur et amélioration fonctionnelle de manière cliniquement importante qui ont été maintenues après 3 mois de suivi. PSS/100 : (DMCI : 13,3 cm) Après (T2) : DM=14,5 (47%) 3 mois : DM=16,96 (54%)	Kujala/100 : (DMCI : 10 points) Après (T2): DM= -10,33 (13%) 3 mois : DM= -11,67 (14%) (>DMCI pour 2 coureuses sur 3)	Temps pour faire un 10km le mois précédent : réduction de 5min pour une seule coureuse	NC

Augmentation de la cadence

<p>Neal, 2018</p> <p>Série de cas prospective longitudinale</p> <p>Royaume-Uni</p> <p>The effects and mechanisms of increasing running step rate: A feasibility study in a mixed-sex group of runners with patellofemoral pain</p>	<p>N=10 coureurs (4 hommes et 6 femmes)</p> <p>Distance de course : hebdomadaire >10km Moyenne : 17 +/- 9,8km</p> <p>Âge : 18-45 ans Âge moyen : 31,6 +/- 5,5 ans</p> <p>SFP > 45,1 +/-32,1 mois EN > 3/10</p>	<p>Augmentation de la cadence de +7,5% de la cadence idéale</p> <p>18 séances sur 6 semaines (3/sem) Augmentation progressive du temps de course de 10 à 30 min</p> <p>Diminution du métronome au fil des séances : plus de biofeedback les 2 dernières semaines Course sur 3km à vitesse idéale Arrêt si EN > ou égal à 4/10</p> <p>Port de leurs propres chaussures</p>	<p>Avant / après intervention</p>	<p>EN/10 : (<i>DMCI : 1,2 points</i>) : Réductions cliniquement importantes (>DMCI) à T6 Douleur moyenne : DM = 2,1 (57%) IC95% : 0,88 à 3,32 ; d = 1,7 Pire douleur : DM = 3,9 (70%) IC95% : 2,08 à 5,72 ; d = 2,0</p>	<p>Kujala/100 : (<i>DMCI : 10 points</i>) Amélioration faible et non cliniquement importante de la douleur et de la fonction : DM= - 4,4 (5%) ; IC95% : 1,42 à -10, 22 : d=0,12</p>	<p>NC</p>	<p>Fracture du stress tibial chez un participant après une augmentation soudaine du volume d'entraînement.</p>
<p>Bramah, 2019</p> <p>Série de cas prospective longitudinale</p> <p>Royaume-Uni</p> <p>A 10% increase in step rate improves running kinematics and clinical outcomes in runners with patellofemoral pain at 4 weeks and 3 months</p>	<p>N= 12 coureurs (8 femmes, 4 hommes) dont 2 perdus de vue (analyse en intention de traiter)</p> <p>Fréquence de course > 2x/sem Distance de course hebdomadaire moyenne : 29,03 +/- 8,11 km</p> <p>Âge moyen : 39,92 +/- 6,5 ans</p> <p>SFP >3 mois. EN > 3/10</p> <p>Cinématique aberrante de la hanche et du bassin</p>	<p>Augmentation de la cadence de 10% (n=12)</p> <p>1 séance de 10 min : Biofeedback par un métronome audible pendant 5 min puis enlevé pour les 5 dernières minutes.</p> <p>Autosupervision : course pendant 2 semaines avec un métronome puis 2 semaines sans métronome mais surveillance de la cadence avec une montre GPS. Possibilité d'augmenter la distance de course si la douleur <3/10 (NRS)</p> <p>Port de leurs propres chaussures</p>	<p>Avant / après intervention</p>	<p>Amélioration significative et cliniquement importante (>DMCI ; P<0,01) de la pire douleur et de la fonction</p> <p>EN/10 : pire douleur (<i>DMCI : 1,2 points</i>) <u>Après (T4)</u> : DM=5,2 (84%) <u>3 mois</u> : DM=5,9 (95%)</p>	<p>LEFS/80 : (<i>DMCI : 9 points</i>) <u>Après (T4)</u> : DM= -14,3 (23%) <u>3 mois</u> : DM= -17,4 (28%)</p>	<p>Amélioration significative entre T0 et T4 et maintenues à 3 mois de : la plus longue distance sans douleur : DM = 6,84 km IC95 % : 3,05 à 10,62 km d=2,10 ; p<0,01 la distance de course hebdomadaire : DM = 13,77 km IC à 95 % : 4,62 à 22,93 km d=1,30 ; p<0,01</p>	<p>NC</p>

Augmentation de la cadence, attaque avant-pied

Dos Santos 2019	n=18 coureurs (9 femmes, 9 hommes)	Randomisation aléatoire : 3 groupes	Groupe 1 / 2	EVA/10 : (DMCI : 2 cm)	Kujala/100 : (DMCI : 10 points)	NC	NC
ECR		Sujets et examinateurs non aveuglés.	Groupe 3 :	Effet significatif du temps (P<0,001 ; taille de l'effet = 0,190)	Effet significatif groupe / temps (p=0,023 ; taille de l'effet = 0.306)		
Brésil	Niveau : récréatifs		augmentation de la flexion du tronc (n=6)		Après (T2) :		
Effects of three gait retraining techniques in runners with patellofemoral pain	Distance de course : minimum de 15 km/sem les 3 derniers mois Moyenne : 22,9 km	8 séances (4/sem), 2 semaines Temps de course progressif de 15 à 30 min à la vitesse idéale sur tapis roulant Interdiction de courir en dehors des séances	Biofeedback : explications verbales	Réduction significative et cliniquement importante (>DMCI) de la pire douleur dans les 3 groupes : Après (T2) : DM=2,75 (54%) IC95 % : 1,05 à 4,44 ; p=0.002 6 mois : DM= 3,77 (75%) IC95 % : 1,96 à 5,58 ; p< 0,001	Groupe 1 : (>DMCI) DM= -16,50 points (22%) ; IC95% : -6,68 à -26,31 ; p=0.001 Groupe 2 : (<DMCI) DM= -1,50 points (2%) ; IC95 % : 8,31 à -11,31 ; p=1,00 Groupe 3 : (>DMCI) DM = -13,00 points (17%) ; IC95 % : -3,18 à -22,81 ; p=0.008 Intergroupe : DM (G1-G2)=15 (>DMCI) ; DM (G1-G3)= 3,5 (<DMCI) ; DM (G3-G2)=11,5 (>DMCI) 6 mois : Groupe 1 : (>DMCI) DM= -18,73 (25%) ; IC95% : -10,92 à -26,54 ; p < 0,001 Groupe 2 : (<DMCI) DM= -9,33 points (12%) ; IC95 % : -2,40 à -16,26 ; p=0.007 Groupe 3 : (>DMCI) DM= -15,5 (20%) ; IC95% : -7,68 à -23,3 ; p<0,001		
	Âge : 18-35 ans			Amélioration plus longue pour le groupe 2 mais score d'intensité inférieur au début.	LEFS/80 : (DMCI : 9 points) Effet significatif du temps (P<0,001 ; taille de l'effet= 0,269)		
	SFP > 3 mois	Diminution du biofeedback auditif au fur et à mesure			Amélioration significative, mais non cliniquement importante (<DMCI) dans les 3 groupes :		
	Bilatérales : 9/18				Après (T2) :		
	EVA : 3-10/10	Port de chaussures standardisées plutôt maximalistes			DM = -8.16 points (12%) ; IC95% : -3.44 à -12.89 ; p=0,001		
	Foulée : attaque naturelle arrière-pied				6 mois : DM= -8,74 (13%) ; IC95% : -4,17 à -13,30 ; p<0,001		
		Groupe 1 : Passage à une foulée avant-pied (n=6) Biofeedback : explications verbales					
		Groupe 2 : augmentation de la cadence de 10% (n=6) Biofeedback : métronome					

Esculier, 2017	n=69 coureurs (43 femmes, 26 hommes) dont 7 perdus de vue avant T8 et 3 qui n'ont pas retourné leur questionnaire à T20	Randomisation aléatoire : 3 groupes Patients non aveuglés, mais évaluateurs oui.	Groupe 1 : education (n=23) sur la gestion de la charge et des modifications de l'entraînement en fonction des symptômes	Les 3 programmes ont été efficaces pour améliorer la douleur et les limitations fonctionnelles. La modification du patron de course n'a pas apporté d'avantage supplémentaire à l'éducation seule. Amélioration significative ($p < 0,05$) et cliniquement importante de la douleur et la fonction à T8 et maintenues à T20 <i>pour le groupe 3</i> .	Distance de course hebdomadaire : <i>pour le groupe 3</i> <u>Après (T8)</u> : DM=3,3 km ; IC95% : 0,1 à 6,4 ; $p < 0,01$ <u>T20</u> : DM= - 1,7 ; IC95% : - 6,9 à 3,5 ; $p = 0,018$	Groupe 3 : Une douleur mineure au mollet.
ECR						
Canada						
Is combining gait retraining or an exercise programme with education better than education alone in treating runners with patellofemoral pain?	(analyse en intention de traiter et per protocole) Niveau : récréatifs Distance de course : hebdomadaire > 15 km, 20,3 km Âge : 18-45 ans, SFP >3 mois, EVA >3/10 à la course + 3 activités KS-ADLS < 85% Foulée : 45 arrière-pied 24 avant/milieu-pied	5 séances / 8 semaines 6 physiothérapeutes par groupe Autorisation de courir en dehors des séances Groupe 3 : education + modification patron de course (n=23) : augmenter la fréquence de pas de 7,5 à 10%, courir plus doucement ou pas de frappe arrière-pied en fonction de ce que jugeait nécessaire le physiothérapeute. Séance : 10 minutes Pas de précision sur le port de chaussures	Groupe 2 : education + exercices renforcement (n=23) : Séance (<20 min, 3x/semaine) : 3 à 4 exercices + 1 exercice quotidien	EVA/10 : <i>Groupe 3 :</i> Douleur habituelle : (DMCI : 1,5 cm) <u>Après (T8)</u> : DM=1,5 (48%) ; IC95% : 0,4 à 2,5 <u>T20</u> : DM=1,6 (52%) ; IC95% : 0,4 à 2,7 Pire douleur : (DMCI : 2 cm) <u>Après (T8)</u> : DM=3,0 (50%) ; IC95% : 1,6 à 4,4 <u>T20</u> : DM=2,8 (47%) ; IC95% : 1,2 à 4,3 Pendant la course : (DMCI : 2 cm) <u>Après (T8)</u> : DM=3,3 (54%) ; IC95% : 2,1 à 4,6 <u>T20</u> : DM= 3,6 (59%) ; IC95% : 2,3 à 4,9 Aucun effet statistiquement significatif groupe x temps ($p > 0,43$).	KOS-ADLS/100 : (DMCI=13,6 points) <i>Groupe 3 :</i> <u>Après (T8)</u> : DM= -14,7 (21%) IC95% : -8,1 à -21,4 <u>T20</u> : DM= -15,6 (23%) IC95% : -8,9 à -22,3 DMCI atteint à T8 pour le groupe 3 et à T4 pour les groupes 1 et 2. Aucun effet statistiquement significatif groupe x temps ($p \geq 0,71$).	Les valeurs à T20 n'étaient pas significativement différentes de celles de T0. Aucun effet statistiquement significatif groupe x temps ($p = 0,649$).

Augmentation de la cadence, chaussures minimalistes

Bonacci 2017	N=16 coureurs (12 femmes, 4 hommes) dont 2 perdus de vue avant le début	Randomisation aléatoire : 2 groupes Patients non aveuglés, mais évaluateurs oui.	Groupe 2 : Port d'orthèses plantaires préfabriquées (n=7 femmes) Max 4 séances	Réduction de la douleur et une amélioration de la fonction à 12 semaines. EVA/10 : Pire douleur (DMCI : 2 cm) <i>Groupe 1 : DM=3,495 (81%) (>DMCI)</i> <i>Groupe 2 : DM=0,842 (16%) (<DMCI)</i> <i>Inter-groupe : DM=2,653 (>DMCI)</i> Douleur moyenne : (DMCI : 1,5 cm) <i>Groupe 1 : (<DMCI) DM =1,392 (77%)</i> <i>Groupe 2 : (<DMCI) DM =0,424 (15%)</i> <i>Inter-groupe : (<DMCI) DM= 0,968</i>	<u>Kujala/100</u> : (DMCI : 10 points) <i>Groupe 1 : (>DMCI) DM= -12,26 (15%)</i> <i>Groupe 2 : (<DMCI) DM= -1,73 (2%)</i> <i>Inter-groupe : (>DMCI) DM (G1-G2) = 10,53</i> <u>Changement global /15</u> : Le taux de réussite exprimé comme étant au moins " modérément meilleur (+4) " était : <i>Groupe 1 : de 86 % et Groupe 2 de 29 %</i>	<u>Distance de course hebdomadaire</u> : aucun effet statistiquement significatif dans les deux groupes : <i>Groupe 1 : DM=0,42 km : (IC95 % -5,3 km à 4,4 km) ; p=0,84</i> <i>Groupe 2 : DM=0,7 km (IC95 % : -2,7 à 1,3 km), p=0,41</i>	Groupe 1 : Trois douleurs musculaires mineures du mollet (43%)
ECR							
Australie	Niveau : récréatifs Distance de course : hebdomadaire >10km 15,3km Âge : 18-40 ans SFP > 6 semaines + provoqué lors des activités EVA : Douleur la plus intense la semaine précédente >30/100	6 semaines Groupe 1 : Augmentation de la cadence de 10% et port de chaussures minimalistes (n=7) 10 séances sur tapis roulant 2x/ sem pendant 4 semaines puis 1x/sem pendant 2 semaines. <u>Séances = 20% du temps de course/sem.</u> Augmentation progressive du temps de course / séance Biofeedback par un métronome pendant 4 semaines, diminué à la 5 ^{ème} semaine et enlevé la 6 ^{ème} semaine. Instruction : atterrir en douceur Chaussures minimalistes <u>80% restants</u> : courent sans supervision dans les chaussures habituelles avec un métronome (5 premières semaines)					

Tableau IV: Extraction des caractéristiques des études et résultats

(PSS: patellofemoral pain scale, AKPS : Anterior Knee Pain Scale, LEFS : The Lower Extremity Functional Scale, KOS-ADLS : Knee Outcome Survey of the Activities of Daily Living Scale, DM : différence de moyenne, IC à 95% : Intervalle de confiance à 95%,* : résultat statistiquement significatif, η^2 : Taille d'effet, p : p-value, T0 : début de l'intervention, T4/T8/T12/T20 : 4^{ème}, 8^{ème}, 12^{ème}, 20^{ème} semaine après le début de l'intervention)

2.2.3. Évaluation de la qualité des études

Les niveaux de preuve des sept études incluses [67, 68, 74, 76, 90–92] ont été calculés en fonction du design de l'étude à partir de la version française de l'échelle NHMRC en *Annexe XI*. Du fait qu'il s'agit d'études interventionnelles, les ECR étaient de niveau II [67, 68, 74, 76] tandis que les études de cas de qualités inférieures étaient de niveau IV [90–92].

Les biais potentiels ont été évalués grâce à l'échelle Downs and Blacks de 1998 modifiée (traduite et renseignée en *Annexe XII*) [85]. Cette échelle a permis d'évaluer et de comparer la qualité à la fois des ECR mais aussi des séries de cas incluses dans la revue. Un résultat sur un total de vingt-huit points et retranscrit sous forme d'un pourcentage en donnait une estimation chiffrée. Les ECR ont tous obtenu une note supérieure aux séries de cas et qui dépassait les 75% [67, 68, 74, 76]. Les deux ECR d'Esculier et al. et de Bonnaci et al. (2017) sont de qualité supérieure avec un total de 93% [74, 76]. Les deux autres ECR de Roper et al., 2016 et de Dos Santos et al., 2019 ont obtenu des taux respectifs de 82% et de 75% [67, 68]. Tandis que les séries de cas sont de qualité inférieure avec des taux compris entre 50% et 71% [90–92].

Les niveaux de preuve et la qualité des études incluses sont résumés dans le *Tableau V*, ci-dessous.

Auteur, année	Design	NHMRC	Downs and blacks						
		Niveau de preuve	Qualité de l'étude (/11)	Validité externe (/3)	Validité interne		Puissance (/1)	Total (/28)	Total (%)
			Biais de l'étude (/7)	Biais et confusion de sélection (/6)					
Attaque avant-pied									
Roper 2016	ECR	II	11	1	5	5	1	23	82%
Cheung 2011	Série de cas prospective longitudinale	IV	7	2	5	3	0	17	61%
Augmentation de la cadence									
Neal 2018	Série de cas prospective longitudinale	IV	6	1	5	1	1	14	50%
Bramah 2019	Série de cas prospective longitudinale	IV	9	2	5	3	1	20	71%
Augmentation de la cadence, attaque avant-pied									
Dos Santos 2019	ECR	II	9	3	5	4	1	21	75%
Esculier 2017	ECR	II	11	3	6	5	1	26	93%
Augmentation de la cadence, chaussures minimalistes									
Bonacci 2017	ECR	II	11	3	6	5	1	26	93%

Tableau V: Niveaux de preuve (selon l'échelle NHMRC) et qualité des études (selon l'échelle Downs and blacks modifiée, 1998) [85]

2.2.4. Analyse descriptive

Les retombées de la transition vers une foulée minimaliste en termes de douleur, de fonction et de performance en course à pied sont détaillées ci-dessous. Le *Tableau IV* (cf. pages 25 à 29) synthétise l'ensemble des résultats en plus des caractéristiques des études. Ensuite les *Tableaux VI, VII, VIII* résument les résultats chiffrés pour chaque critère de jugement.

2.2.4.1. Impact du changement de foulée sur la douleur

Attaque « avant-pied »

Dans l'ECR de qualité moyenne de Roper et al., 2016, le passage à une attaque « avant-pied » a diminué de manière significative ($p=0,031$) et cliniquement importante les douleurs liées à la course. La DM était de 4,3 cm (IC95% : 3,1 à 5,3) sur l'EVA (/10) deux semaines après l'intervention et après un mois [67]. En effet, la DM ainsi que les valeurs comprises dans l'intervalle de confiance ont dépassé la DMCI de 2,0 cm [67]. Le résultat cliniquement important était donc généralisable à l'ensemble de la population [67]. Les douleurs ont ainsi été réduites de 81% après l'intervention et après un mois de suivi [67]. Cependant la taille de l'effet, évaluant une différence d'efficacité entre les résultats obtenus avant et après l'intervention était faible ($\eta^2=0,29$) [67].

Concernant le groupe témoin, la différence n'était ni significative ($p>0,05$), ni cliniquement importante ($<DMCI : 2cm$). Elle était de seulement 1,4 cm à deux semaines puis de 0,4 cm à un mois [67]. De plus la DM inter-groupe de 2,9 cm était cliniquement importante à deux semaines de l'intervention en faveur du changement de foulée [67].

Bien que de faible qualité méthodologique, une série de cas de Cheung et al., 2011 appuie ces résultats. Les douleurs liées aux activités de la vie quotidienne ont également été réduites après cette même intervention de manière cliniquement importante [90]. Les DM sur l'échelle PSS (sur 100 cm) de 14,5 cm après deux semaines et de 16,96 cm après trois mois étaient supérieures à la DMCI de 13,3 cm [90]. Maintenue dans le temps, l'intensité des douleurs était 54% moins importante après trois mois de suivi [90].

Augmentation de la cadence de 7,5 et 10%

Seulement deux séries de cas ont étudié l'efficacité d'une augmentation de la cadence [91, 92]. Bien que le niveau de preuve soit peu important, les résultats étaient cliniquement importants dans ces deux études [91, 92]. Les DM sur l'EN (/10) étaient supérieures à la DMCI de 1,2 points que ce soit pour les douleurs moyennes ou pour les pires douleurs [91, 92].

Suite à une augmentation de la cadence de 7,5%, les DM étaient de 2,1 points (IC95% : 0,88 à 3,32) pour les douleurs moyennes et de 3,9 points (IC95% : 2,08 à 5,72) pour les pires douleurs à six semaines dans la série de cas de Neal et al., 2018 [91]. Alors que les valeurs de l'intervalle de confiance étaient toutes supérieures à la DMCI pour les pires douleurs, ce n'était pas le cas pour les douleurs moyennes où la DMCI était incluse dans l'intervalle de confiance [91]. L'impact cliniquement important aurait donc été généralisable à l'ensemble de la population pour les pires douleurs [91]. Ce qui n'aurait pas été le cas pour les douleurs moyennes [91]. De plus, la borne inférieure de l'intervalle de confiance pour les douleurs moyennes était presque nulle [91]. Toute la population ciblée ne bénéficierait donc pas de l'effet antalgique pour les douleurs moyennes [91]. La réduction des douleurs moyennes et des pires douleurs étaient alors respectivement de 57% et 70% [91]. De plus, les tailles d'effet pour l'intensité des douleurs moyennes ($d=1,7$) et des pires douleurs ($d=2,0$) étaient importantes [91].

En plus d'être cliniquement importante, la réduction des pires douleurs était significative ($p<0,01$) après une augmentation de la cadence de 10% dans la série de cas de Bramah et al., 2019 [92]. Les DM pour les pires douleurs étaient de 5,2 points à quatre semaines et de 5,9 points après trois mois de suivi [92]. Cela a été maintenu dans le temps avec une réduction de 95% de l'intensité des pires douleurs trois mois après l'intervention [92].

Augmentation de la cadence et passage à une attaque « avant-pied »

Dans un ECR de qualité moyenne de Dos Santos et al., 2019, les trois groupes (passage à une attaque « avant-pied », augmentation de la cadence de 10% et augmentation de la flexion du tronc) ont vu l'intensité des pires douleurs diminuer [68]. La réduction était significative et cliniquement importante [68]. La p-value était inférieure à 0,05 et la différence était supérieure à la DMCI de 2 cm. En effet, la DM sur l'EVA (/10) était de 2,75 cm (IC95 % : 1,05 à 4,44 ; $p=0.002$) à deux semaines [68]. Cependant la DMCI était comprise dans l'intervalle de confiance [68]. Le résultat cliniquement pertinent n'aurait donc pas été généralisable à l'ensemble de la population [68]. Bien que significative ($p<0,001$), la taille d'effet du temps était toutefois négligeable (0,19) [68]. L'amélioration était maintenue dans le temps et estimée à 75% dans les trois groupes après six mois [68].

Bien que l'amélioration dans le groupe avec augmentation de la cadence était plus lente que dans les deux autres, les scores finaux des trois groupes étaient semblables à six mois [68].

Le changement de foulée au cas par cas dans l'ECR de bonne qualité d'Esculier et al., 2017 était associé à l'éducation du coureur [74]. Il a alors permis une amélioration significative ($p<0,05$) et cliniquement importante de l'intensité des douleurs [74]. À huit semaines, les DM

sur l'EVA (/10) étaient de 1,5 cm (IC95% : 0,4 à 2,5) pour la douleur habituelle, de 3,0 cm (IC95% : 1,6 à 4,4) pour la pire douleur et de 3,3 points (IC95% : 2,1 à 4,6) pour la douleur pendant la course [74]. Les DM étaient donc supérieures à la DMCI de 1,5 cm pour les douleurs habituelles et de 2 cm pour les pires douleurs et celles pendant la course [74]. Toutefois à l'exception des douleurs liées à la course, la DMCI était comprise dans les intervalles de confiance pour les pires douleurs et les douleurs moyennes [74]. L'impact cliniquement important n'aurait donc pas été généralisable à l'ensemble de la population pour les douleurs moyennes et les pires douleurs à la différence des douleurs liées à la course [74]. De plus, la borne inférieure de l'intervalle de confiance des douleurs habituelles était presque nulle ce qui suggère un manque d'efficacité pour une partie de la population [74]. Après cinq mois, les DM et intervalles de confiance étaient maintenus [74]. La réduction des douleurs moyennes, des pires douleurs, et celles pendant la course étaient alors de 47%, 52% et 59% à cinq mois [74].

Néanmoins, il n'y a eu aucun effet statistiquement du groupe par rapport au temps ($p>0,43$) [74]. La foulée minimaliste en plus de l'éducation n'a donc pas apporté d'avantage supplémentaire à l'éducation seule ou associée à des exercices de renforcement sur les douleurs FP [74]. Bien que les douleurs aient été significativement réduites, la foulée minimaliste n'a permis ni de les réduire plus rapidement, ni d'intensité supérieure aux deux autres groupes [74].

Augmentation de la cadence et port de chaussures minimalistes

Dans l'ECR de bonne qualité de Bonacci et al., 2017 après une augmentation de la cadence de 10% associée au port de chaussures minimalistes, seule la réduction des pires douleurs était cliniquement importante [76]. En effet, la DM de 3,495 cm pour les pires douleurs à trois mois était supérieure à la DMCI de 2,0 cm sur l'EVA (/100) [76]. Bien que proche de la DMCI de 1,5 cm, la DM de 1,392 cm pour les douleurs moyennes était insuffisante pour être cliniquement pertinente [76]. En définitive, les pires douleurs ont été réduites de 81% et les douleurs moyennes de 77% après trois mois [76].

De plus, le changement de foulée a apporté une plus grande réduction de la douleur que le port d'orthèse que ce soit pour les pires douleurs ou les douleurs moyennes [76]. En effet, la différence entre les deux interventions était cliniquement importante en faveur de la foulée minimaliste pour les pires douleurs avec une DM de 2,653 cm [76]. Tandis qu'elle était non significative et non cliniquement importante pour la douleur moyenne avec une DM de 0,968 cm [76].

Auteur Année	Echelles de DOULEUR	Différence de moyenne (Réduction de la douleur en pourcentage)	
<u>Attaque « avant-pied »</u>			
Roper 2016	EVA/10 (Pendant ou après la course)	Après (T2) : 81% * ^a	1 mois : 81% * ^a
Cheung 2011	PSS/100 (liée aux activités)	Après (T2) : 47% ^{b a}	3 mois : 54% ^{b a}
<u>Augmentation de la cadence de 7,5% et de 10%</u>			
Neal 2018	EN/10 (pire et moyenne)	Après (T6) : <i>Pire</i> : 70% ^{b a} / <i>moyenne</i> : 57% ^{b a}	
Bramah 2019	EN/10 (pire)	Après (T4) : 84% * ^a	3 mois : 95% * ^a
<u>Attaque « avant-pied » et augmentation de la cadence</u>			
Dos Santos 2019	EVA/10 (pire)	Après (T2) <i>Augmentation de la cadence, attaque avant-pied et flexion du tronc</i> 54% * ^a	6 mois <i>75% * ^a</i>
Esculier 2017	EVA/10 (Habituelle, pire, pendant la course)	Après (T8) <i>Habituelle</i> : 48% * ^a / <i>Pire</i> : 50% * ^a <i>Pendant la course</i> : 54% * ^a	T20 (5 mois) <i>Habituelle</i> : 52% * ^a / <i>Pire</i> : 47% * ^a <i>Pendant la course</i> : 59% * ^a
<u>Augmentation de la cadence de 10% et chaussures minimalistes</u>			
Bonacci 2017	EVA/100 (pire et moyenne)	Après (T12) : <i>Pire</i> : 81% ^{b a} / <i>Moyenne</i> : 77% ^b	

Tableau VI: Variation de l'intensité de la douleur des études incluses suite au passage à une foulée minimaliste (Après : après l'intervention ; T : nombre de semaines après l'intervention), (* : Amélioration statistiquement significative de la douleur), (^b : pvalue non calculée) (^a : amélioration cliniquement importante > DMCI)

2.2.4.2. Impact du changement de foulée sur la fonction

Attaque « avant-pied »

Seule la série de cas de Cheung et al., 2011 évaluait exclusivement le passage à une attaque « avant-pied » sur la fonction [90]. La douleur et les capacités fonctionnelles sur l'échelle « Kujala » (/100) ont alors été améliorées [90]. Les DM de -10,33 et de -11,67 points à deux semaines et trois mois étaient supérieures à la DMCI [90]. Maintenu à trois mois, l'amélioration était alors de 14% [90]. La différence était cliniquement importante pour deux des trois coureuses (>DMCI : 10 points) [90].

Augmentation de la cadence de 7,5 et 10%

Deux séries de cas ont évalué l'effet d'une augmentation de la cadence sur les capacités fonctionnelles [91, 92].

Une augmentation de la cadence de 7,5% a permis une amélioration de seulement 5% de la douleur et la fonction sur l'échelle « Kujala » (/100) à six semaines dans la série de cas de Neal et al., 2018 [91]. Avec une DM de - 4,4 points (IC95% : 1,42 à -10,22), le résultat n'était pas cliniquement pertinent (<DMCI : 10 points) pour les patients [91]. De plus, l'intervalle de confiance comprenait des valeurs positives, négatives et nulles [91]. Cela signifie donc que pour une partie de la population, les capacités fonctionnelles n'auraient pas été améliorées et auraient même été réduites [91]. La taille d'effet était également négligeable (d=0,12) [91]. Les résultats fonctionnels n'étaient alors pas favorables dans cette étude [91].

Cependant, après une augmentation de la cadence de 10%, les capacités fonctionnelles mesurées sur l'échelle LEFS (/80) ont été significativement ($p<0,01$) améliorées dans la série de cas de Bramah et al., 2019 [92]. Cette évolution était cliniquement importante ($> DMCI : 9$ points) et maintenue à 28% à trois mois de suivi [92]. Les DM étaient de -14,3 points à quatre semaines et de -17,4 points à trois mois [92].

Augmentation de la cadence et passage à une attaque « avant-pied »

Dans l'ECR de qualité moyenne de Dos Santos et al., 2019, le passage à une foulée « avant-pied » a amélioré de façon significative ($p<0,001$) et cliniquement importante ($>DMCI : 10$ points) la douleur et la fonction [68]. En effet, la DM était de -16,50 points (IC95% : -6,68 à -26,31) à deux semaines de l'intervention sur l'échelle « Kujala » (/100) [68]. Cependant, la DMCI était comprise dans l'intervalle de confiance à deux semaines. L'impact cliniquement important n'aurait donc pas été généralisable à l'ensemble de la population [68]. Il l'était cependant après six mois [68]. L'amélioration s'était maintenue dans le temps et était de 25% à six mois [68]. L'amélioration des symptômes était cependant plus lente dans le groupe avec augmentation de la cadence de 10% [68]. Non significative ($p=1,00$) et non cliniquement importante ($<DMCI : 10$ points), la DM était de -1,50 points (IC95 % : 8,31 à -11,31) à deux semaines [68]. Elle est devenue significative ($p=0.007$) qu'à six mois mais était toujours insuffisante pour être cliniquement pertinente [68]. La différence était alors de 12% à six mois par rapport au début de l'intervention [68].

Il y avait un effet significatif ($p=0,023$) des groupes par rapport au temps malgré une faible taille d'effet (0.306) [68]. L'augmentation de la flexion du tronc a montré une efficacité similaire à l'attaque « avant-pied » [68]. Bien que tout de même inférieure, elle était significative ($p<0,008$) et cliniquement importante (DM= -13 points (IC95% : -3,18 , -22,81)) [68]. La DM inter-groupe de 3,5 points en faveur de l'attaque « avant-pied » n'était pas suffisante pour montrer une différence cliniquement importante entre les deux interventions [68]. L'efficacité d'une augmentation de la cadence de 10% était plus tardive et inférieure à l'attaque « avant-pied » mais aussi à la flexion du tronc [68]. Les DM intergroupes respectives entre une augmentation de la cadence par rapport à la flexion du tronc et la foulée « avant-pied » étaient alors de 11,5 points et 15 points après l'intervention [68]. Supérieures à la DMCI de 10 points, les DM intergroupes traduisaient alors une différence d'efficacité cliniquement importante en défaveur de l'augmentation de la cadence [68]. À terme, l'efficacité est restée inférieure à l'attaque avant-pied et la flexion du tronc [68].

L'étude de Dos Santos et al., 2019 a également montré une amélioration significative ($p=0.001$) de la gêne dans les activités suite aux trois interventions sur l'échelle LEFS (/80)

[68]. Les résultats étaient similaires suite à une augmentation de la cadence de 10%, à une attaque « avant-pied » et à une augmentation de la flexion du tronc [68]. La DM dans les trois groupes était de -8,16 points (IC95 % : -3,44 à -12,89) à deux semaines [68]. Bien que la différence n'était cependant pas suffisante pour être cliniquement importante (<DMCI : 9 points), elle était maintenue à 13% après cinq mois [68]. Comme pour la douleur, l'amélioration dans le temps était significative ($p < 0,001$) mais la taille d'effet était faible (0,269) [68].

Le changement de foulée du coureur était associé à de l'éducation dans l'ECR de bonne qualité d'Esculier et al., 2017 [74]. Ils ont permis une réduction significative ($p < 0,05$) des douleurs et des limitations fonctionnelles sur l'échelle KOS-ADLS (/100) [74]. L'amélioration des symptômes était cliniquement importante (>DMCI : 13,6 points) à partir de deux mois avec une DM de -14,7 points (IC95% : -8,1 à -21,4) [74]. La DMCI étant comprise dans l'intervalle de confiance, l'amélioration cliniquement pertinente n'aurait pas été généralisable à l'ensemble de la population [74]. Ensuite maintenue dans le temps, la différence était alors de 23% cinq mois après le début de l'intervention [74].

Cependant, les deux autres groupes ont atteint la DMCI dès la quatrième semaine [74]. Les groupes ont reçu de l'éducation seule ou associée à des exercices de renforcement [74]. Le groupe ayant modifié sa foulée a donc mis plus de temps à atteindre la DMCI que les deux autres groupes [74]. De plus, les résultats fonctionnels n'indiquaient pas d'effet significatif ($p > 0,71$) du groupe par rapport au temps [74]. Bien que l'efficacité était plus tardive pour la foulée minimaliste, les trois groupes ont vu leurs scores KOS-ADLS progresser de manière significative ($p < 0,05$) [74]. Au même titre que la douleur, la foulée minimaliste n'a pas apporté d'avantage supplémentaire pour les capacités fonctionnelles par rapport à l'éducation seule ou l'éducation associée au renforcement musculaire [74].

Augmentation de la cadence et port de chaussures minimalistes

L'intervention dans l'ECR de bonne qualité de Bonacci et al., 2017 consistait à augmenter la cadence de 10% en plus de porter des chaussures minimalistes [76]. Les niveaux de douleur et de limitation fonctionnelle ont été réduits de manière cliniquement importante [76]. En effet, la DM de -12,26 points était supérieure à la DMCI de 10 points [76]. L'amélioration sur l'échelle « Kujala » (/100) était alors de 15%, trois mois après le début de l'intervention [76].

De plus, les résultats fonctionnels étaient supérieurs au groupe avec port d'orthèses [76]. Améliorés de seulement 2% avec une DM de -1,73 points, ils n'étaient pas cliniquement importants [76]. En effet, la différence inter-groupe était cliniquement importante en faveur du changement de foulée avec une DM de -10,53 points [76]. Concernant le changement global mesuré sur 15 points, le taux de réussite était considéré comme au moins "modérément meilleur

(+4)" chez 86% des participants du groupe passant à une foulée minimaliste [76]. Tandis qu'il était de seulement de 29% dans le groupe portant des orthèses [76].

Auteur Année	Echelle évaluant la FONCTION	Différence de moyenne (Amélioration de la fonction en pourcentage)	
<u>Attaque « avant-pied »</u>			
Cheung 2011	D+F : Kujala/100	Après (T2) : 13% ^{b a}	3 mois : 14% ^{b a}
<u>Augmentation de la cadence de 7,5% et 10%</u>			
Neal 2018	D+F : Kujala /100	Après (T6) : 5% ^b	
Bramah 2019	F : LEFS/80	Après (T4) : 23% ^{* a}	3 mois : 28% ^{* a}
<u>Augmentation de la cadence et attaque « avant-pied »</u>		Après (T2)	6 mois
Dos Santos 2019	D+F : Kujala/100	Attaque avant-pied	
		22% ^{* a}	25% ^{* a}
		Augmentation de la cadence de 10%	
		2%	12% [*]
	F : LEFS/80	Augmentation de la cadence de 10%, attaque avant-pied et flexion du tronc	
		12% [*]	13% [*]
Esculier 2017	D+F : KOS-ADLS/ 100	Après (T8) : 21% ^{* a}	T20 (5 mois) : 23% ^{* a}
<u>Augmentation de la cadence de 10% et chaussures minimalistes</u>		Après (T12)	
Bonacci 2017	D+F : Kujala/100	15% ^{b a}	
	D+F : Evaluation changement global/15	86% modérément meilleur (+4%)	

Tableau VII: Variation du niveau fonctionnel des études incluses suite au passage à une foulée minimaliste (Après : après l'intervention ; T : nombre de semaines après l'intervention), (D+F : douleur + fonction) (F : fonction) (* : Amélioration statistiquement significative de la fonction), (b : pvalue non calculée) (a : amélioration cliniquement importante > la DMCI)

2.2.4.3. Impact sur les performances en course à pied

Attaque avant-pied

Dans la série de cas de Cheung et al., 2011, une des trois coureuses a réduit de cinq minutes le temps pour faire un 10 kilomètres [90].

Augmentation de la cadence

L'intervention dans la série de cas Bramah et al., 2019 a permis une plus grande distance de course sans douleur en moyenne de 6,84 km (d=1,30) [92]. La distance de course hebdomadaire a également vu une élévation moyenne de 13,78 km (d=2,10) [92]. Ces améliorations étaient importantes au vu de leurs tailles d'effet en plus d'être statistiquement significatives [92]. Elles ont ensuite été maintenues après trois mois de suivi [92].

Augmentation de la cadence et passage à une attaque « avant-pied »

Dans l'ECR d'Esculier et al., 2017, le groupe avec éducation et changement de la foulée a augmenté de 3,3 km (IC95% : 0,1 à 6,4) et de manière significative (p<0,01) sa distance de course hebdomadaire à la huitième semaine [74]. Elle a ensuite diminué de 1,7 km (IC95% : - 6,9, 3,5 ; p=0,018) entre la huitième et la vingtième semaine post-intervention [74]. Ainsi, les valeurs à vingt semaines n'étaient pas significativement différentes par rapport au début [74].

De plus, la distance de course hebdomadaire n'a pas mis en évidence d'effet significatif (p=0,649) des groupes par rapport au temps [74]. En conclusion, la foulée minimaliste n'a pas

apporté d'avantage supplémentaire à terme par rapport aux interventions des deux autres groupes concernant la performance en course à pied [74].

Augmentation de la cadence et port de chaussures minimalistes

Augmenter la cadence de 10% et donner des chaussures minimalistes aux coureurs a augmenté la distance hebdomadaire de course de 0,42 km (IC 95 % : -5,3 km à 4,4 km) dans l'ECR de Bonacci et al., 2017 [76]. Cependant, le résultat n'était pas significatif ($p=0,84$) [76].

La distance de course a également été augmentée de façon non significative ($p=0,41$) dans le groupe portant des orthèses [76]. La DM était de 0,7 km (IC à 95 % : -2,7 à 1,3 km) [76].

Auteur Année	Paramètres mesurant la PERFORMANCE EN COURSE A PIED	Différence de moyenne
<u>Attaque « avant-pied »</u>		
Cheung 2011	Meilleur temps pour faire une course de 10 km le mois précédent	Après (T2) : -5 min pour 1/3 coureuse
<u>Augmentation de la cadence de 10%</u>		
Bramah 2019	Distance de course sans douleur à T4	Après (T4) 6,84 km*
	La distance de course hebdomadaire à T4	13,78 km*
<u>Attaque « avant-pied » et augmentation de la cadence</u>		
Esculier 2017	Distance de course hebdomadaire	Après (T8) : 3,3km* T20 : - 1,7km
<u>Augmentation de la cadence de 10% et chaussures minimalistes</u>		
Bonacci 2017	Distance de course hebdomadaire	Après (T12) : 0,42 km

Tableau VIII: Variation du niveau de performance en course à pied suite au passage à une foulée minimaliste
(Après : après l'intervention ; T : nombre de semaines après l'intervention), (* : Amélioration significative) (^b : pvalue non calculée)

2.3. Discussion scientifique

2.3.1. Synthèse et analyse des résultats

L'objectif de cette revue systématique était d'étudier l'impact de la foulée minimaliste sur la douleur, la fonction ainsi que sur la performance chez des adultes coureurs atteints de SFP. Deux ECR de très bonne qualité [74, 76], deux ECR de qualité moyenne [67, 68] et trois séries de cas [90–92] ont été inclus dans la revue. Les interventions consistaient à passer à une attaque « avant-pied », à augmenter la cadence entre 7,5% et 10% par rapport à celle initiale ou à porter des chaussures minimalistes [67, 68, 74, 76, 90–92]. Certaines études associaient plusieurs techniques [68, 76]. Une autre étude laissait au thérapeute le choix entre plusieurs techniques en fonction de ce qu'il jugeait nécessaire pour chaque patient [74].

2.3.1.1. Impact du changement de foulée sur la douleur

Les quatre ECR inclus dans cette revue ont montré une action antalgique de la foulée minimaliste quel que soit le type de douleur [67, 68, 74, 76]. Bien que le niveau de preuve soit inférieur, trois séries de cas ont appuyé cette conclusion [90–92]. En dehors de trois études n'ayant pas calculé la p-value intra-groupe, les résultats étaient tous significatifs [67, 68, 74, 76, 90–92]. En tenant compte seulement de la DM intragroupe, ils étaient également suffisant pour être cliniquement important dans les douze évaluations à l'exception des douleurs moyennes dans l'ECR de Bonacci et al., 2017 [67, 68, 74, 76, 90–92]. Les intervalles de confiance définis dans seulement quatre des études ont apporté des informations complémentaires [67, 68, 74, 91]. Les résultats cliniquement importants auraient alors été généralisables à l'ensemble des populations traitées pour les pires douleurs et les douleurs liées à la course dans trois études (Roper et al., 2016, Neal et al., 2018 et Esculier et al., 2017) [67, 74, 91]. Cela n'aurait toutefois pas été le cas pour les douleurs moyennes ou les pires douleurs dans trois études (Esculier et al., 2017, Neal et al., 2018 et Dos Santos et al., 2019) [68, 74, 91]. De plus, la borne inférieure de l'intervalle de confiance étant presque nulle, une partie de la population ne bénéficierait pas de l'antalgie pour les douleurs habituelles (Esculier et al., 2017) et moyennes (Neal et al., 2018) dans deux études [74, 91]. **La réduction de toutes les douleurs était ensuite maintenue dans le temps entre un et six mois minimum dans toutes les études [67, 68, 74, 76, 90–92]. En effet, à distance du traitement les douleurs liées à la course ont été réduites de 59% à 81% (Roper et al., 2016 et Esculier et al., 2017), les pires douleurs de 47% à 95% (Neal et al., 2018 ; Bramah et al., 2019 ; Dos Santos et al., 2019 ; Esculier et al., 2017 ; Bonacci et al., 2017), les douleurs habituelles ou moyennes de 52% à 77% (Neal et**

al., 2018 ; Esculier et al., 2017 et Bonacci et al., 2017) **et les douleurs liées aux activités de la vie quotidienne de 54%** (Cheung et al., 2011) [67, 68, 74, 76, 90–92].

2.3.1.2. Impact du changement de foulée sur la fonction

Dans les études incluses, seule celle de Roper et al., 2016 n'évaluait pas les retombées fonctionnelles de la foulée minimaliste [67]. **Les résultats des trois ECR restants renforcés par ceux des trois séries de cas ont globalement montré une amélioration des capacités fonctionnelles suite à l'intervention et à distance du traitement** [68, 74, 76, 90–92].

Dans l'ECR d'Esculier et al., 2017, l'intervention variait en fonction de ce que jugeait nécessaire le thérapeute [74]. La douleur et la fonction ont été améliorées de 23% à distance de l'intervention, de façon significative et cliniquement importante sur l'échelle KOS-ADLS [74]. Cependant, d'après l'intervalle de confiance, l'amélioration cliniquement pertinente n'aurait pas été généralisable à l'ensemble de la population [74].

Le score « Kujala » ou AKPS a également montré une amélioration de la douleur et de la fonction à distance du traitement de 5% à 25% [68, 76, 90, 91].

Suite au passage à une foulée « avant-pied », l'amélioration était significative et cliniquement importante dans un ECR (Dos Santos et al., 2019) [68]. L'impact cliniquement important n'aurait toutefois pas été généralisable à l'ensemble de la population avant six mois [68]. Bien que de faible qualité, une série de cas (Cheung et al., 2011) a également montré une amélioration cliniquement importante sur deux des trois coureuses après le passage à une attaque « avant-pied » [90].

Une augmentation de la cadence de 10% associée au port de chaussures minimalistes a eu un impact cliniquement important dans un autre ECR (Bonacci et al., 2017) [76]. Les résultats étaient cependant inférieurs dans deux études qui modifiaient seulement la cadence de course [68, 91]. En effet, suite à une augmentation de la cadence de 7,5%, l'amélioration des symptômes de seulement 5% n'était ni significative, ni cliniquement importante dans une série de cas (Neal et al., 2018) [91]. De plus, au vu de l'intervalle de confiance, les capacités fonctionnelles n'auraient pas été améliorées et auraient même été réduites pour une partie de la population [91]. Pour les résultats suite à une augmentation de la cadence de 10% seule, ils ne sont devenus significatifs qu'après six mois et n'étaient pas suffisant pour avoir un intérêt clinique dans un ECR (Dos Santos et al., 2019) [68].

Les scores sur l'échelle d'évaluation du changement global (douleur et fonction) dans l'ECR de Bonacci et al., 2017 ont également été améliorés de façon modérée suite au passage à la foulée minimaliste chez 86% des participants [76].

Le passage à une foulée minimaliste a également réduit de manière significative la gêne dans les activités de la vie quotidienne sur l'échelle LEFS dans deux études [68, 92]. Les capacités respectives à réaliser des activités de la vie quotidienne étaient alors améliorées de 13% et 28% [68, 92]. En plus d'être significatif, le résultat était cliniquement important suite à une augmentation de la cadence de 10% dans la série de cas de Bramah et al., 2019 [92]. Néanmoins, la différence n'était pas suffisante pour être cliniquement importante pour les trois interventions dans l'ECR de Dos Santos et al., 2019 [68].

2.3.1.3. Impact sur la performance en course à pied

Deux ECR et deux séries de cas inclus dans la revue se sont intéressées à l'impact de la foulée minimaliste sur les performances lors d'un SFP [74, 76, 90, 92]. Même si les résultats n'ont pas été concluants, ils vont plutôt dans le sens de meilleures performances [74, 76, 90, 92]. Une coureuse sur les trois incluses dans la série de cas de Cheung et al., 2011 a diminué de cinq minutes son temps pour réaliser un dix kilomètres [90]. Néanmoins, au vu de la faiblesse méthodologique de l'étude, on ne pouvait rien en conclure [90]. La coureuse était peut-être davantage prédisposée à améliorer son temps de course [90]. Dans l'étude d'Esculier et al., 2017, il n'y avait pas de différence significative à long terme du changement de foulée sur la distance de course hebdomadaire [74]. Les résultats n'étaient également pas significatifs dans l'étude de Bonacci et al., 2017 [76]. Seule l'augmentation de la cadence de 10% dans la série de cas de Bramah et al., 2019 a allongé de façon significative les distances de course [92]. De plus, leurs tailles d'effet étaient très grandes ($d=1,30$ et $d=2,10$) [92].

2.3.2. La foulée minimaliste est-elle plus efficace sur la douleur qu'un placebo ?

Seule l'étude de Roper et al., 2016 a comparé le changement de foulée à un groupe témoin qui courait selon la même posologie sur un tapis roulant sans rétroaction particulière [67]. Cette étude a donc permis de montrer que la modification des symptômes n'était pas due au hasard mais bien le résultat de l'intervention [67]. La différence entre les deux groupes était cliniquement importante en faveur du groupe expérimental [67]. En effet, le groupe expérimental a diminué de manière significative

l'intensité des douleurs liées à la course de 81% après un mois [67]. Tandis que dans le groupe témoin, les douleurs ont été réduites de façon non significative ($p>0,05$) et de seulement 23% [67]. On pouvait cependant s'attendre à ce résultat. En effet, dans les différentes études tous les patients recrutés souffraient de douleurs subaiguës ou chroniques qui ne s'étaient donc pas résolues spontanément avant six semaines [67, 68, 74, 76, 90–92]. De plus l'intensité des douleurs au début de l'intervention était supérieure à 22,4% sur l'échelle PSS ou dépassait les 3/10 et 30/100 sur l'EN et l'EVA dans toutes les études [67, 68, 74, 76, 90–92]. On pouvait donc s'attendre à aucune récupération spontanée aussi marquée des douleurs à long terme. En plus de l'intervention du hasard et de la récupération spontanée, l'effet placebo dû à l'interaction entre le thérapeute et le patient a également pu influencer les résultats. Cependant, cette interaction fait partie intégrante de la prise en charge thérapeutique et ne pouvait pas être écartée.

2.3.3. Explications physiologiques des résultats

La foulée minimaliste améliore les symptômes des personnes souffrant de SFP. Or le changement de foulée diminue les contraintes sur l'articulation FP (cf. pages 11-12). Cinq hypothèses détaillées en *Annexe XIX* expliquent ce constat. D'abord, la foulée minimaliste permettrait **une réduction des forces d'impact verticales** diminuant ainsi les contraintes et les symptômes FP [67, 74, 75, 90, 96]. Ensuite, **la remise en charge progressive** induite par le protocole de changement de foulée pourrait participer à l'amélioration des symptômes [67, 68, 74, 76, 90–92]. Un meilleur alignement du membre inférieur par **une diminution du valgus dynamique** diminuerait les contraintes et plus particulièrement celles du compartiment latéral de la rotule [67, 68, 91, 92]. Enfin, deux hypothèses formulées sont contradictoires sur l'amplitude du genou dans le plan sagittal. Des preuves vont dans le sens d'une **augmentation de la flexion de genou lors de l'impact du pied au sol suite au passage à une attaque « avant-pied » permettant un meilleur amorti** [67, 68]. Elle serait accompagnée d'une pré-activation des muscles gastrocnémiens et droit fémoral favorisant la stabilité du membre inférieur [67, 68]. Tandis que d'autres montrent **une plus grande extension du genou lors de la phase d'appui suite à une augmentation de la cadence** [91, 92, 96]. Avec une moindre sollicitation du quadriceps, la diminution de la flexion permettrait une réduction des forces de réaction FP [96]. Il est possible que les stratégies biomécaniques choisies afin de réduire les contraintes FP soient propres aux coureurs. Cela expliquerait les différences observées dans la littérature.

2.3.4. L'impact est-il différent suivant le type de douleur ?

La série de cas de Neal et al., 2018 ainsi que les ECR d'Esculier et al., 2017 et de Bonacci et al., 2017 ont comparé l'impact de la foulée minimaliste sur les pires douleurs et les douleurs habituelles ou moyennes [74, 76, 91]. Les trois études ont montré des réductions plus importantes des pires douleurs que des douleurs habituelles suite à l'intervention [74, 76, 91]. Concernant les douleurs liées à la course, l'amélioration était également supérieure aux deux autres types de douleurs dans l'ECR d'Esculier et al., 2017 [74]. De plus, comme mentionné précédemment dans la discussion, une partie de la population ne pas bénéficierait pas de l'antalgie pour les douleurs habituelles (Esculier et al., 2017) et moyennes (Neal et al., 2018) [74, 91]. Ce qui ne serait pas le cas pour les autres douleurs [67, 68, 74, 91]. Ensuite, sur les douze évaluations réalisées dans l'ensemble des études, seule les douleurs moyennes dans l'ECR de Bonacci et al., 2017 n'ont pas été réduites de manière cliniquement importante [76]. Cette observation pourrait alors s'expliquer par **un effet antalgique supérieur des fortes douleurs ou des douleurs liées à la course suite au changement de foulée.**

2.3.5. Le niveau de course à pied influence-t-il les résultats ?

Les coureurs dans les ECR étaient de niveau récréatif [67, 68, 74, 76]. Ils étaient recrutés dans la population générale via des annonces publicitaires [68, 74, 76]. Dans les séries de cas, les coureurs provenaient de clubs de course et de cliniques sportives [90–92]. Néanmoins, la distance de course hebdomadaire moyenne avant l'intervention n'était pas supérieure dans les séries de cas [90–92]. Elle variait entre quinze et trente-et-un kilomètres par semaine dans les sept études incluses [67, 68, 74, 76, 90–92]. La notion de compétition n'était pas définie dans les caractéristiques des participants des études. **Aucune corrélation n'a pu être faite entre la distance de course hebdomadaire ou le mode de recrutement avec l'amélioration de la douleur, de la fonction et de la performance en course à pied.** Les études étaient trop hétérogènes et la hiérarchisation des niveaux de course à pied entre les études manquait de clarté pour une conclusion fondée. **Cependant il est important de garder à l'esprit que les capacités de chargement et les objectifs ne sont pas les mêmes entre un coureur récréatif et un coureur de haut niveau.**

2.3.6. Quelle est la posologie nécessaire pour que la foulée minimaliste soit efficace ?

Le nombre de séances était supérieur dans les études de Bonacci et al., 2017 et de Neal et al., 2018 [76, 91]. Il était respectivement de dix et dix-huit séances réparties sur six semaines dans ces deux études [76, 91]. Bien qu'ayant obtenu de bons résultats sur les symptômes FP, un nombre de séance supérieur n'a pas apporté d'avantage supérieur aux autres études [76, 91]. **Une séance de dix minutes pour apprendre un nouveau patron de course suivie d'une auto-régulation a eu les meilleurs résultats en terme de douleur, de fonction et de performance en course à pied dans l'étude de Bramah et al., 2019 [92].** L'intervention consistait à augmenter la cadence de 10% [92]. Ensuite, le coureur courait à l'extérieur pendant quatre semaines et régulait lui-même sa cadence à l'aide d'un métronome puis d'une montre GPS [92]. De plus, elle présentait l'avantage d'être moins exigeante en terme de suivi par le thérapeute puisque le coureur pouvait s'exercer seul à l'extérieur [92]. Néanmoins, les thérapeutes ne pouvaient pas réguler la progressivité dans le changement de foulée. L'apport de l'**éducation** s'avère donc essentiel dans ce type d'intervention afin que le coureur puisse moduler son entraînement en fonction de conseils avisés du thérapeute et de l'écoute de ses symptômes. **Un suivi réel ou virtuel** (téléconsultation, emails) pourrait être intéressant pour d'éventuels ajustements, en cas de questions, de doutes ou en simple surveillance.

2.3.7. Quelles sont les techniques d'apprentissage de la foulée minimaliste les plus efficaces sur les symptômes FP ?

Du fait de l'hétérogénéité des études, il était difficile d'établir une conclusion concernant la supériorité d'une technique par rapport à une autre [67, 68, 74, 76, 90–92].

Cependant, Dos Santos et al. étudiaient l'efficacité du passage à une attaque « avant-pied », et d'une augmentation de la cadence de 10% au sein du même ECR ce qui facilitait la comparaison [68]. Cet ECR a montré une efficacité plus tardive que ce soit pour la douleur ou la fonction d'une augmentation de la cadence de 10% par rapport aux deux autres interventions [68]. L'intensité de la douleur, inférieure dès le début de l'étude dans le groupe avec augmentation de la cadence, pourrait donc expliquer cette observation [68]. Au final, les résultats concernant la douleur à six mois étaient semblables pour ces deux interventions [68]. En plus d'être plus tardive, la différence d'efficacité fonctionnelle (« Kujala ») entre les deux interventions était cliniquement importante en défaveur de l'augmentation de la cadence [68]. L'amélioration de seulement 2% après l'augmentation de la cadence était non significative et non cliniquement importante [68]. Elle était similaire dans l'étude de Neal et al., 2018 avec un

changement de seulement 5% [91]. Le score de 2% a tout de même augmenté de façon significative à 12% après six mois mais restait non cliniquement important et inférieur à l'attaque « avant-pied » [68]. En effet, l'amélioration dans le groupe ayant une foulée « avant-pied » était significative, cliniquement importante et estimée à 22% après l'intervention et 25% à six mois [68]. De même, l'amélioration était cliniquement importante, de 14% et 15% à distance respectivement du passage à une foulée avant-pied (Cheung et al., 2011) et du port de chaussures minimalistes en plus d'une augmentation de la cadence (Bonacci et al., 2017) [76, 90]. **En résumé, l'efficacité d'une augmentation de la cadence seule sur les symptômes FP semble plus tardive et moins importante que d'autres techniques favorisant une foulée minimaliste** [68, 76, 90, 91]. D'autres études de bonnes qualités sont alors nécessaires pour vérifier cette observation.

Cinq études étudiaient l'effet d'une augmentation de la cadence entre 7,5% et 10% sur les douleurs FP [68, 74, 76, 91, 92]. **Comment ont-été déterminées ces variations de cadence ?** Une augmentation de la cadence de 10% a été choisie car il a été démontré qu'une telle variation de la fréquence de pas permettait une réduction significative des contraintes FP [73]. Au-dessus de 10%, le coût métabolique pourrait impacter les performances [97]. En-dessous, entre 5% et 7,5% des effets significatifs pouvaient déjà être observés notamment sur la réduction de l'adduction maximale de hanche ainsi que les taux de charges verticaux [98, 99]. On pouvait supposer qu'une augmentation de la cadence de 10% par rapport à 7,5% permettrait une réduction plus importante du stress et des douleurs FP. Or il ne semblait pas y avoir de différences d'efficacité importantes sur les symptômes. Cependant, la littérature manque d'études homogènes et de haute qualité permettant de le vérifier. **Il serait toutefois judicieux de conseiller aux coureurs souhaitant modifier leur foulée de commencer avec une augmentation de la cadence proche des 7,5% puis se rapprocher progressivement des 10%.** De plus, il faut s'attendre à une marge d'erreur dans l'automatisation de la cadence acquise par rapport à celle voulue. Elle était de de 0,5% (après l'intervention) dans l'étude d'Esculier et al., 2017 [74] et de 5% (après un mois de suivi) dans celle de Willy et al., 2015 [100].

2.3.8. La foulée minimaliste est-elle plus efficace que d'autres techniques de modification de la foulée ?

2.3.8.1. L'augmentation de la flexion du tronc

Augmenter la flexion du tronc lors de la course à pied est une stratégie étudiée dans l'ECR de Dos Santos et al., 2019 [68]. Comme le précise *l'Annexe V*, augmenter la flexion du tronc

et avancer le centre de gravité permettrait de diminuer l'extension du genou et donc de diminuer les contraintes FP lors de la course à pied [45]. Dos Santos et al. la comparaient à l'attaque « avant-pied » et à l'augmentation de la cadence de 10% [68]. D'abord l'efficacité de l'augmentation de la flexion du tronc ou de l'attaque « avant-pied » sur la douleur (EVA) et la fonction (« Kujala ») était plus rapide que dans le groupe avec augmentation de la cadence [68]. Néanmoins à distance du traitement, l'effet antalgique était semblable dans les trois interventions [68]. Concernant la fonction (« Kujala »), les capacités ont été améliorées de façon significative et cliniquement importante après avoir augmenté la flexion du tronc [68]. **D'efficacité supérieure à l'augmentation de la cadence de 10%, la différence était cliniquement importante en faveur de la flexion du tronc [68]. Bien que la différence ne soit pas cliniquement importante, l'efficacité sur la fonction de la flexion du tronc était inférieure à l'attaque «avant-pied» [68].**

2.3.8.2. Modifications de la foulée dans le plan frontal

Une adduction et rotation médiale de hanche excessives ainsi qu'une chute du bassin controlatéral peuvent participer au valgus de genou et augmenter les contraintes sur le compartiment latéral de la rotule comme mentionné dans l'*Annexe V* [18, 32]. Diminuer ces trois paramètres lors de la course à pied a montré une réduction significative des douleurs de 90,5% et 100% respectivement dans les séries de cas de Willy et al., 2012 [101] et de Noehren et al., 2010 [102]. Or ces deux études ne précisaient ni le type, ni le niveau de douleur mesuré [101, 102]. Il était donc difficile d'effectuer une comparaison avec la foulée minimaliste. **L'effet antalgique de la rééducation dans le plan frontal a toutefois dépassé toutes les interventions de la foulée minimaliste à l'exception d'une** [67, 68, 74, 76, 90, 91]. Il s'agissait d'une augmentation de la cadence de 10% dans la série de cas de Bramah et al., 2019 dont les douleurs ont été réduites de 95% à trois mois [92]. Le changement dans les autres études était inférieur à 81% [67, 68, 74, 76, 90, 91]. Bien que réduites, les participants conservaient des douleurs à distance de la transition minimaliste [67, 68, 74, 76, 90, 91] comparativement à la rééducation dans le plan frontal de Noehren et al., 2010 [102]. Suite à une rééducation dans le plan frontal, les capacités fonctionnelles ont également été améliorées de manière significative et cliniquement importante sur l'échelle LEFS de 11 [102] et de 12,1 points [101]. Ces résultats étaient supérieurs aux 8,74 points lors de la foulée minimaliste dans l'ECR de Dos Santos et al., 2019 [68]. Ils étaient cependant inférieurs à l'amélioration de 17,4 points après trois mois de l'augmentation de la cadence de 10% de Bramah et al., 2019 [92].

2.3.9. La foulée minimaliste est-elle plus efficace que d'autres techniques de rééducation conventionnelle ?

2.3.9.1. La foulée minimaliste face à l'éducation et au renforcement

La foulée minimaliste en plus de l'éducation du patient dans l'étude d'Esculier et al., 2017 n'a pas montré d'avantage supplémentaire à l'éducation seule ou l'éducation associée à des exercices de renforcement [74]. Les trois interventions ont permis de réduire la douleur et d'améliorer les capacités fonctionnelles de manière significative et cliniquement importante [74]. De plus, ces avantages se sont maintenus dans le temps, jusqu'à cinq mois minimum [74]. La foulée minimaliste n'a cependant permis ni d'améliorer les symptômes plus rapidement, ni d'intensité supérieure aux deux autres groupes [74]. L'efficacité sur les capacités fonctionnelles était même plus tardive que dans les deux autres groupes [74]. Alors que le groupe « rééducation du patron de course et éducation » a atteint la DMCI à la huitième semaine, les deux autres groupes l'avaient déjà atteinte à la quatrième semaine [74]. De même, les résultats en terme de performance lors du changement de foulée n'étaient pas supérieurs au renforcement musculaire ou à l'éducation [74].

Néanmoins, bien que modifier la foulée suivant ce que le thérapeute juge nécessaire soit intéressant d'un point de vue clinique, la standardisation du biofeedback et du changement de foulée aurait peut-être montré un avantage supérieur de la foulée minimaliste. De plus, les trois groupes ayant reçu de l'éducation, il n'était donc pas possible de connaître l'efficacité de la foulée minimaliste seule face à l'éducation ou au renforcement musculaire [74]. Cette étude a toutefois montré **l'importance de l'éducation à la gestion de la charge d'entraînement en fonction des symptômes** chez les coureurs souffrants de SFP [74]. Les coureurs peuvent alors gérer eux-mêmes leurs douleurs et leurs entraînement en fonction des symptômes perçus [74].

2.3.9.2. La foulée minimaliste face aux orthèses plantaires

Que ce soit d'un point de vue douloureux ou fonctionnel, les résultats dans l'étude de Bonacci et al., 2017 étaient supérieurs pour la foulée minimaliste comparativement au port d'orthèses plantaires [76]. **Aucun effet significatif n'a été toutefois observé entre les deux groupes sur la performance en course à pied** [76]. La foulée minimaliste consistait à augmenter la cadence de course de 10% et à donner des chaussures minimalistes aux coureurs [76]. En effet, le changement de foulée a amélioré les douleurs (EVA) et les capacités fonctionnelles (« Kujala) de façon plus importante que le port de semelles [76]. La différence entre les deux interventions était cliniquement importante en faveur de la foulée minimaliste

pour la pire douleur et les capacités fonctionnelles [76]. Les pires douleurs ont donc été réduites de 81% suite au changement de foulée contre seulement 16% lors du port d'orthèses plantaires [76]. Concernant la fonction, l'amélioration des capacités fonctionnelles était de seulement 2% suite au port de semelles contre 15% pour la foulée minimaliste [76]. Bien que proche de la DMCI, la différence entre les deux interventions sur les douleurs moyennes n'était pas cliniquement importante [76]. De plus, le changement global sur quinze points était amélioré au moins de façon modérée (+4 points) chez 86% des participants du groupe passant à une foulée minimaliste contre seulement 29% dans le groupe portant des orthèses [76].

2.3.10. Évènements indésirables

Bien que le changement de foulée semble avantageux, il n'est pas sans risque. Un sujet dans les études de Roper et al., 2016 et d'Esculier et al., 2017 ainsi que trois dans celle de Bonacci et al., 2017 se sont plaints de douleurs au mollet [67, 74, 76]. Deux sujets de l'étude de Roper et al., 2016 ont également signalé des douleurs à la cheville qui se sont calmées avec le repos [67]. De plus, une fracture de stress tibiale a été diagnostiquée dans l'étude de Bramah et al., 2019 suite à une augmentation du volume de course [92]. Les études de Cheung et al., 2011, Neal et al., 2018 et Dos Santos et al., 2019 n'ont pas rapporté de blessures liées à la course à pied [68, 90, 91]. **Au vu des évènements indésirables, la préparation et la progressivité pour passer à une foulée minimaliste ne sont ainsi pas négligeables. L'éducation et un renforcement musculaire concomitant sont donc essentiels lors du changement de foulée.**

2.3.11. Recommandations

Des recommandations ont été formulées dans le *Tableau IX* à partir de la grille du NHMRC (*en Annexe XX*). Elles concernent les différentes interventions favorisant la foulée minimaliste sur la douleur et les capacités fonctionnelles chez l'adulte coureur atteint d'un SFP. La quantité, le niveau de preuve, la qualité, la cohérence, l'impact clinique, la généralisabilité et l'applicabilité des études incluses dans la revue ont été pris en compte.

Le plus haut niveau de recommandation (A) a été donné pour le passage à une attaque « avant-pied ». La force de recommandation (C) pour l'augmentation de la cadence seule était inférieure mais satisfaisante. En plus d'études de moins bonne qualité, un défaut de cohérence et un impact clinique inférieur de cette intervention sur les résultats ont été développés précédemment dans la revue (cf. pages 43-44). A la différence du passage à une attaque « avant-pied », la posologie différente dans les interventions s'intéressant à la cadence pourrait expliquer le manque de cohérence dans les résultats. **La force de recommandation**

(B) pour l'augmentation de la cadence associée au port de chaussures minimalistes est bonne. Il en est de même pour le choix du thérapeute entre une augmentation de la cadence et une attaque « avant-pied ». Malgré le fait qu'il n'y ait qu'une seule étude pour chacune de ces deux interventions ne permettant pas d'évaluer la cohérence des résultats, le niveau de preuve et l'impact clinique sont supérieurs à l'augmentation de la cadence.

Interventions	Attaque avant-pied	Augmentation de la cadence (7,5-10%)	Augmentation de la cadence et port de chaussures minimalistes	Attaque avant-pied ou augmentation de la cadence (au cas par cas)
Études sources des données	A'	B'	A''	A'''
Cohérence	A ¹	C ¹	NA	NA
Impact clinique	A ²	D ²	B ²	A ^{2''}
Généralisabilité	A ³	A ³	A ³	A ³
Applicabilité	A ⁴	A ⁴	A ⁴	A ⁴
Recommandations	A	C	B	B

Tableau IX: Recommandations établies à partir de l'échelle NHMRC (2009)

A' : Deux études de niveau II avec un risque de biais faible et une niveau IV (Roper 2016 ; Dos Santos 2019 ; Cheung 2011). *B'* : Une étude de niveau II avec un risque faible de biais et deux études de niveau IV (Dos Santos 2019 ; Neal 2018 ; Bramah 2019). *A''* : Une étude de niveau II avec une risque faible de biais (Bonacci 2017). *A'''* : Une étude de niveau II avec une risque faible de biais (Esculier 2017)

A¹ : Cohérence des résultats sur la douleur et fonction. *C¹* : Cohérence des résultats sur la douleur mais pas sur la fonction. *NA* : Non Applicable car une seule étude.

A² : **Très grand** (Amélioration significative (quand mesurée) et cliniquement importante des douleurs liées à la course, liées aux activités, des pires douleurs et des capacités fonctionnelles). *D²* : **Restreint** (Amélioration significative (quand mesurée) et cliniquement importante des pires douleurs dans trois études et des capacités fonctionnelles dans une étude. Faible, non cliniquement importante des capacités fonctionnelles dans deux études). *B²* : **Modéré** (Amélioration cliniquement importante des pires douleurs et des capacités fonctionnelles. Non suffisante mais presque cliniquement importante pour les douleurs moyennes). *A^{2''}* : **Très grand** (Amélioration significative et cliniquement importante des pires douleurs, des douleurs habituelles et celles pendant la course ainsi que les capacités fonctionnelles).

A³ : Données scientifiques directement généralisables à la population cible avec quelques mises en garde

A⁴ : Directement applicable au système de soin.

2.3.12. Biais et limites

2.3.12.1. Qualité méthodologique et biais des études incluses

Une analyse des biais des études incluses a été réalisée grâce à l'échelle Downs and Blacks modifiée. **D'après les données ci-dessous, les ECR [67, 68, 74, 76] sont bien de qualité méthodologique supérieure aux séries de cas [90–92]. De plus, les ECR d'Esculier et de Bonacci, tous deux de 2017 [74, 76] sont de très bonne qualité tandis que ceux de Roper et Dos Santos sont de qualité moyenne [67, 68].**

Tous les ECR ont assigné les participants à des groupes différents selon une randomisation aléatoire et l'attribution était secrète jusqu'au début de l'intervention [67, 68, 74, 76]. Ce n'était pas le cas des séries de cas, du fait de l'absence de groupes comparateurs [90–92]. Concernant la mise en aveugle des sujets, elle n'a été possible dans aucune des études car les interventions attribuées étaient trop différentes [67, 68, 74, 76, 90–92]. Néanmoins, les évaluateurs l'ont été dans tous les ECR à l'exception de celui de Roper et al. en plus des trois séries de cas [67, 68, 74, 76, 90–92]. La validité externe des ECR à l'exception de celui de Roper et al., 2016 était

supérieure aux séries de cas permettant une meilleure généralisation de leurs résultats à la population en général [68, 74, 76]. Des défauts, dans le recrutement et la sélection des patients, ont été observés dans les trois séries de cas ainsi que dans les ECR de Roper et al., 2016 et de Dos Santos et al., 2019 [67, 68, 90–92]. La présence ou l'absence d'évènements indésirables n'ont pas été mentionnées dans l'ECR de de Dos Santos et al., 2019 [68] et dans deux séries de cas : Cheung et al., 2011 et Neal et al., 2018 [90, 91].

Toutefois, l'échelle Downs and Blacks modifiée n'a pas permis de mesurer tous les biais. D'abord la taille de l'échantillon variait de 3 à 18 coureurs dans les études [67, 68, 76, 90–92] à l'exception de celle d'Esculier et al., 2017 [74] qui était composée de 69 coureurs. Ainsi, la série de cas de Cheung et al., 2011 constituée de seulement 3 sujets n'était d'aucune preuve clinique mais apportait des premiers éléments de conclusion [90]. Ensuite, la proportion de femmes dans l'ensemble des études incluses était de 63% contre 37% d'hommes [67, 68, 74, 76, 90–92]. Ceci peut s'expliquer par le fait qu'une majorité de femmes sont atteintes du SFP. Enfin, sur toutes les études incluses, seul l'ECR de Roper et al. 2016 a comparé la foulée minimaliste à un groupe témoin [67]. Pour les autres, on ne pouvait pas estimer la part du hasard dans les résultats obtenus [68, 74, 76, 90–92].

Bien que de qualité méthodologique supérieure et souvent cité par La Clinique Du Coureur™ comme référence, l'ECR d'Esculier et al., 2017 présente plusieurs biais. En effet, selon une critique réalisée par le Dr Davis en 2017 certains des facteurs auxquels elle fait allusion auraient dû être considérés pour améliorer l'étude [103]. Premièrement, la modification du patron de course était variable selon les patients et les physiothérapeutes qui les prenaient en charge [74]. On ne peut donc pas comparer l'efficacité des différentes techniques de rééducation du patron de course [103]. Deuxièmement, le biofeedback n'était pas rigoureusement décrit [103]. On ne sait donc pas comment il a été mis en place (visuel, auditif, consignes utilisées...), ni combien de temps il a duré [103]. Troisièmement, les patients qui passaient à une attaque avant-pied auraient pu bénéficier également d'un renforcement concomitant de la cheville et du pied pour éviter les blessures [103]. Quatrièmement, les patients continuaient de courir après l'intervention avec des douleurs moyennes à 3,5/10 sur l'EVA bien que tout de même réduites [103]. On peut alors s'interroger sur l'adhésion des patients à l'éducation car ces derniers ne devaient pas courir avec des douleurs supérieures à 2/10 [103]. Enfin, les trois groupes ont reçu de l'éducation [74]. Le premier a seulement eu de l'éducation, le deuxième de l'éducation ainsi que des exercices de renforcement et le troisième des exercices de modification du patron de course en plus de l'éducation [74]. On ne peut donc pas connaître spécifiquement l'efficacité de la foulée minimaliste seule [74].

2.3.12.2. Limites de la revue

L'évaluation de cette revue systématique a été réalisée grâce à l'outil R-AMSTAR renseigné en *Annexe XIII* [88]. Les scores obtenus pour les onze items ont été intégrés dans le *Tableau X* ci-dessous. Le score total varie de onze à quarante-quatre points. Cette revue a obtenu la note de trente-et-un points correspondant à une qualité méthodologique moyenne d'après le classement de Morichon et Pallot en 2014 (en *Annexe XIII*) [104]. Les résultats de cette revue sont donc à prendre avec précaution. Les limites relevées grâce à cette évaluation sont détaillées ci-dessous.

D'abord, ce travail étant réalisé dans le cadre d'un mémoire d'initiation à la recherche en vue du diplôme de masso-kinésithérapie, un seul examinateur a extrait et analysé les données (item 2). De plus, cette même personne a renseigné les échelles Downs and Blacks modifiée et NHMRC. Des erreurs d'interprétation ont ainsi pu être commises. Ensuite, bien que le processus d'exclusion ait été détaillé, les études exclues auraient pu être citées (item 5). Enfin, les études incluses étant très hétérogènes, elles ne permettaient pas de regrouper les résultats au sein d'une méta-analyse (item 9). En effet, leurs interventions et leurs posologies mais surtout les échelles utilisées et le type de douleur mesuré étaient variables. L'évolution des symptômes dans le temps était suivie jusqu'à six mois maximum. Un suivi à plus long terme serait intéressant. Les biais de publications n'ont également pas été mesurés (item 10).

Items R-AMSTAR*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Total
Réponse	BC	-	ABCDE	AB	AC	ABC	ABCD	ABCD	AC	-	AB	
Score	3	1	4	3	2	4	4	4	2	1	3	31

Tableau X: Évaluation de la revue systématique (D'après la grille R-AMSTAR)

**Items grille R-AMSTAR : 1 : Plan de recherche à priori établi ; 2 : Sélection d'études et extraction confiées à au moins deux personnes; 3 : Recherche documentaire exhaustive; 4 : Inclusion de la littérature grise; 5 : Liste des études incluses et exclues fournies; 6 : Caractéristiques des études incluses; 7 : Evaluation de la qualité des études primaires; 8 : Qualité scientifique des études incluses utilisées de façon appropriée dans la formulation des conclusions; 9 : Pertinence des méthodes utilisées pour combiner les résultats des études; 10 : Biais de publication; 11 : Conflit d'intérêts.*

Bien que les populations étudiées correspondent à la population cible, le taux de participants et le nombre d'études sont encore limités. Du fait du peu d'études de haut niveau, trois séries de cas ont été incluses. Le nombre total de coureurs n'était que de dix-sept dans les études s'intéressant à l'attaque « avant-pied », de vingt-huit pour l'augmentation de la cadence seule, de sept pour l'augmentation de la cadence associée au port de chaussures minimalistes et de vingt-trois pour le traitement au cas par cas.

Concernant les résultats, des approximations ont été faites pour désigner les DMCI des douleurs liées à la course sur l'EVA et en lien avec des activités sur l'échelle PSS car elles n'étaient pas calculées dans la littérature.

De plus, il n'existe pas de définition officielle ni de la foulée minimaliste, ni du coureur récréatif ou de haut niveau. Le niveau des coureurs n'était donc pas toujours clair dans les études incluses ce qui a compliqué l'interprétation.

2.3.13. Pistes futures

D'après cette revue, seulement quatre ECR [67, 68, 74, 76] et trois séries de cas [90–92] ont mesuré l'impact de la foulée minimaliste sur les symptômes FP. D'autres ECR de haute qualité sont donc attendus afin de compléter ces données et de pouvoir conclure de façon probante.

Seulement un ECR comparait la foulée minimaliste à un groupe témoin [67]. Davantage d'ECR devraient donc comparer l'impact du changement de foulée à un traitement placebo.

Définir de façon précise les termes « coureurs récréatifs » et « de haut niveau » ainsi que comparer l'impact de la foulée minimaliste sur les symptômes FP en fonction du niveau de course à pied sont également des pistes intéressantes à explorer.

De plus, l'éducation du coureur à la quantification du stress mécanique semble être une dimension indispensable dans le traitement du coureur atteint de SFP [74].

D'après les remarques concernant les biais dans l'étude d'Esculier et al., 2017 un premier ECR pertinent serait de comparer les techniques favorisant la foulée minimaliste afin de répondre à la question : « Existe-t-il une différence d'efficacité dans les techniques favorisant la foulée minimaliste sur les douleurs chez l'adulte coureur atteint d'un SFP ? ».

Un autre ECR comparant l'éducation seule à l'une des stratégies permettant le passage à une foulée minimaliste (attaque « avant-pied », diminution de l'impact, augmentation de la cadence ou port de chaussures minimalistes) serait également intéressant. Un troisième groupe associant les deux interventions précédentes pourrait permettre de répondre à la problématique suivante: « L'apport de l'éducation sur la gestion de la charge apporte-t-il un avantage supplémentaire au passage à une foulée minimaliste chez l'adulte coureur atteint d'un SFP ? »

2.4. Conclusion

Quatre ECR de niveau II sur l'échelle NHMRC, ont été inclus dans cette revue systématique [67, 68, 74, 76]. Il s'agit du niveau le plus adapté dans le cadre d'un essai souhaitant répondre à une question clinique d'intervention. Deux sont de très bonne qualité [74, 76] sur l'échelle Downs and Blacks modifiée tandis que les deux autres sont de qualité moyenne [67, 68]. De plus, trois séries de cas de niveau IV ont appuyé les résultats [90–92]. Toutes les douleurs évaluées (pires, moyennes, liées à la course, lors d'activités) ont été réduites dans les études [67, 68, 74, 76, 90–92]. Les capacités fonctionnelles ont également été améliorées dans la majorité des études traduisant une meilleure qualité de vie [68, 74, 76, 90–92]. De plus, ces avantages ont été conservés dans le temps entre un et six mois [67, 68, 74, 76, 90–92]. Il existe donc une cohérence dans l'impact de la foulée minimaliste sur l'amélioration des symptômes FP. L'augmentation des performances en course à pied n'a toutefois pas été concluante suite au changement de foulée [74, 76, 90, 92]. En plus de diminuer les contraintes FP [70–76], la foulée minimaliste a donc eu un intérêt clinique [67, 68, 74, 76, 90–92].

Il existe des preuves de grade A pour le passage à une attaque « avant-pied ». Elles sont de grade B pour l'augmentation de la cadence associée au port de chaussures minimalistes ou le traitement au cas par cas en fonction de ce que juge nécessaire le thérapeute. Il manque encore de preuves de haut niveau et cohérentes pour l'augmentation de la cadence seule qui est de grade C. Les recommandations sont cependant à prendre avec précaution au vu du nombre limité d'études, du design de certaines des études, des biais mentionnés, de l'hétérogénéité de la méthodologie et des interventions réalisées. D'autres études de haut niveau sont nécessaires pour pouvoir répondre à cette problématique de façon probante.

Augmenter la flexion du tronc ou modifier l'angulation de la hanche dans le plan frontal semblent également être des alternatives intéressantes [68, 101, 102].

Modifier la foulée du coureur de façon transitoire ou permanente peut ainsi permettre une reprise de la course avec moins de douleurs et réduire le risque de chronicité des douleurs FP. Le changement de foulée doit toutefois être préparé et progressif afin d'éviter des blessures indésirables. Un renforcement musculaire concomitant et une éducation du coureur à la quantification du stress mécanique sont alors essentiels pour un changement de foulée optimal.

2.5. Déclaration de liens d'intérêt

L'auteur déclare n'avoir aucun lien d'intérêt ainsi qu'aucune source de soutien financier.

PARTIE III - Discussion personnelle : Mise en perspective professionnelle

1. Recommandations pour la pratique

Alors que la majorité des personnes ont plutôt une foulée arrière-pied [60–62], favoriser une foulée minimaliste pourrait être une proposition intéressante lors de douleurs FP. En effet, comme nous l'avons vu dans cette revue, elle permet à la fois de réduire les douleurs mais aussi d'améliorer les capacités fonctionnelles [67, 68, 74, 76, 90–92].

Cependant, le changement de foulée n'est pas sans risque et n'est pas la solution à tout. Il ne doit pas être entrepris de façon systématique. Une modification transitoire ou permanente peut avoir plusieurs objectifs suivant les coureurs. D'abord de façon transitoire, il permettrait aux coureurs atteints de SFP de reprendre la course avec moins de douleurs et ainsi de diminuer le risque de chronicisation des douleurs. Les coureurs seraient ensuite libres de conserver cette nouvelle foulée ou reprendre leurs anciennes habitudes. De façon permanente, la visée pourrait être de prévenir certaines blessures chez des patients à risque ou leurs récurrences. Même si cela n'a pas été clairement prouvé dans cette revue, le but pourrait aussi chez certains d'améliorer leurs performances en course à pied. Pour d'autres, courir avec une foulée la plus naturelle possible et abandonner leurs chaussures maximalistes qui les contraignent à avoir une foulée « arrière-pied » serait également un objectif.

Plusieurs techniques sont utiles dans la gestion des contraintes FP : favoriser l'attaque « avant-pied » lors de la pose du pied au sol, faire le moins de bruit possible, augmenter la cadence ou passer à un chaussage plus minimaliste [67, 68, 74, 76, 90–92]. Augmenter la flexion du tronc ou diminuer l'adduction de hanche semblent aussi prometteuses [68, 101, 102]. Il convient donc au thérapeute s'il en a estimé le besoin de modifier la foulée suite au bilan et de choisir la technique la plus appropriée pour le coureur.

Un nombre important de séances ne semble pas utile pour être efficace sur les symptômes. Cependant, un suivi ponctuel réel ou virtuel est essentiel afin d'éviter des blessures indésirables.

La transition doit également respecter certaines précautions :

Elle doit d'abord être **préparée**. Des exercices de renforcement du membre inférieur et surtout du mollet et de la voûte plantaire devraient être associés au changement de foulée. En effet, du fait d'un contrôle par des contractions excentriques, ces structures sont sollicitées de manière importante. C'est pourquoi, des exercices sont préconisés car ils modifient les propriétés mécaniques des tissus leur permettant de mieux tolérer les charges qui vont leur être imposées.

Ensuite, la transition doit être **progressive** afin de permettre une adaptation des tissus et d'éviter les blessures suite à un changement de foulée trop rapide. Comme dans les études incluses dans la revue, le temps de course doit augmenter progressivement [67, 68, 74, 76, 90–92]. En cas de proposition de chaussures minimalistes, le changement ne doit pas être radical. Bonacci et al. ont ainsi proposé à leurs coureurs de les porter un maximum de 20% de leur volume de course total dans un premier temps [76]. La cadence pourrait aussi être augmentée graduellement de 5% à 7,5% puis à terme de 10%.

L'ECR d'Esculier et al. a également montré l'importance de **l'éducation** du coureur à la quantification du stress mécanique (expliquée en *Annexe III*) [74]. La gestion des contraintes par une modification de la foulée ou de l'entraînement est indispensable car un stress trop important constitue le facteur de risque principal du SFP [16, 18, 19]. Il est nécessaire de donner des conseils précis au coureur pour assurer une progression sécuritaire et pour qu'il puisse adapter son entraînement en fonction des symptômes perçus (exemple en *Annexe IX*).

2. Gestion globale du projet mémoire

Une certaine rigueur fût nécessaire afin de réaliser ce projet d'initiation à la recherche dans le cadre du mémoire de masso-kinésithérapie. En effet, une fois la thématique et la catégorie de recherche (recherche clinique) choisie, il a fallu construire une problématique pertinente et réalisable au vu de la littérature actuelle. La méthode utilisée pour y répondre devait également être précise afin d'obtenir des résultats cohérents et reproductibles.

Ensuite, il a fallu planifier et fractionner le travail de manière à pouvoir gérer son temps entre les enseignements, le stage, le mémoire et la vie personnelle. J'essayais de prendre de l'avance par rapport aux rendus prévus par l'école afin de gérer le stress et les imprévus.

Le regard de personnes extérieures était essentiel pour prendre du recul par rapport au travail, pousser la réflexion et avancer. Il était également nécessaire de coordonner les points de vue des différents intervenants par rapport au travail : étudiante, directeur de mémoire et expert principalement. Je l'ai également présenté à plusieurs kinésithérapeutes, intervenants de l'école et étudiants pour un maximum de retours.

Néanmoins, la littérature étant principalement anglophone, des difficultés ont été rencontrées pour comprendre le vocabulaire scientifique. L'analyse statistique des différentes études s'est également avérée complexe. Concernant la partie rédactionnelle, des efforts ont été réalisés afin de clarifier et synthétiser les informations pour en retenir l'essentiel. Comprendre la physiopathologie du SFP ne fût également pas chose aisée car les mécanismes responsables des douleurs ne sont pas toujours très clairs dans la littérature.

3. Évolution des connaissances dans le domaine de la masso-kinésithérapie

J'ai acquis grâce à ce travail des savoirs théoriques qui me seront utiles pour ma vie professionnelle.

Avoir étudié la biomécanique de la course à pied et savoir analyser le patron de course me permettront de mieux conseiller le coureur sur sa foulée. La foulée du coureur mais aussi le type de chaussures et le port de semelles sont à prendre en compte dans le bilan et la rééducation du coureur. Le thérapeute doit également pouvoir adapter son traitement en fonction de l'objectif et du niveau de course à pied du patient. Je me suis également intéressée aux tests de bilan et aux principaux axes de traitements pour les blessures les plus fréquemment rencontrées dans la course à pied. Ayant exploité ces différentes connaissances sur mon terrain de stage, je me sens maintenant capable de prendre en charge des coureurs.

L'analyse des facteurs de risque et de la physiopathologie du SFP me permettront de mieux le diagnostiquer et de le prendre en charge suivant des données probantes. Bien qu'actuellement la littérature est plus riche sur les facteurs de risques biologiques, les aspects psychologiques et sociaux commencent à être de plus en plus investigués. Je serai maintenant plus attentive à l'importance des facteurs psychosociaux afin de réduire le risque de chronicité des douleurs.

La quantification du stress mécanique est également une notion que j'ai pu développer dans le cadre de ce mémoire. Elle est essentielle dans la prise en charge du SFP mais aussi dans la majorité des blessures liées à la course à pied. En effet, l'excès de contraintes est le facteur de risque prédominant du SFP. Eduquer le patient à la quantification du stress mécanique, à la physiopathologie du SFP mais aussi à la douleur est important. Il me reste cependant à apprendre comment transmettre ces savoirs au patient.

4. Évolution et exploitation des compétences dans le domaine de la recherche

La masso-kinésithérapie a évolué grâce à la recherche. En effet, cette dernière prend de plus en plus d'ampleur permettant aux thérapeutes d'avoir une pratique raisonnée et justifiée. En plus de l'expérience du praticien, des attentes et valeurs du patient, la prise en charge doit être fondée sur les preuves selon le modèle de l'EBP (Evidence Based Practice) déjà défini en 1996 par Sackett et al. [65]. Ce travail de mémoire m'a permis d'augmenter mes compétences et mon goût pour la recherche. De plus, après avoir construit une revue systématique, j'ai plus de facilité à faire une recherche d'articles et à en ressortir les informations qui m'intéressent. Cela me permettra dans le futur de me tenir au courant des nouvelles avancées afin d'alimenter ma pratique professionnelle.

BIBLIOGRAPHIE:

- [1] Francis P, Whatman C, Sheerin K, et al. The Proportion of Lower Limb Running Injuries by Gender, Anatomical Location and Specific Pathology: A Systematic Review. *Journal of Sports Science and Medicine* 2018; 18: 21–31.
- [2] Lopes AD, Hespanhol Junior LC, Yeung SS, et al. What are the main running-related musculoskeletal injuries? A Systematic Review. *Sports Med* 2012; 42: 891–905.
- [3] Napier C, Cochrane CK, Taunton JE, et al. Gait modifications to change lower extremity gait biomechanics in runners: a systematic review. *British Journal of Sports Medicine* 2015; 49: 1382–1388.
- [4] Lieberman DE. What We Can Learn About Running from Barefoot Running: An Evolutionary Medical Perspective. 2012; 40: 10.
- [5] Davis IM, Bowser BJ, Mullineaux DR. Do impacts cause running injuries? A prospective investigation. 2010.
- [6] Anderson LM, Bonanno DR, Hart HF, et al. What are the Benefits and Risks Associated with Changing Foot Strike Pattern During Running? A Systematic Review and Meta-analysis of Injury, Running Economy, and Biomechanics. *Sports Medicine* 2020; 50: 885–917.
- [7] Collins NJ, Barton CJ, van Middelkoop M, et al. Consensus statement on exercise therapy and physical interventions (orthoses, taping and manual therapy) to treat patellofemoral pain: recommendations from the 5th International Patellofemoral Pain Research Retreat, Gold Coast, Australia, 2017. *British Journal of Sports Medicine* 2018; 52: 1170–1178.
- [8] Willy RW, Hoggund LT, Barton CJ, et al. Patellofemoral Pain. *J Orthop Sports Phys Ther* 2019; 49: 1–05.
- [9] Crossley KM, Stefanik JJ, Selfe J, et al. 2016 Patellofemoral pain consensus statement from the 4th International Patellofemoral Pain Research Retreat, Manchester. Part 1: Terminology, definitions, clinical examination, natural history, patellofemoral osteoarthritis and patient-reported outcome measures. *British Journal of Sports Medicine* 2016; 50: 839–843.
- [10] Dufour M, Pillu M. *Biomécanique fonctionnelle: rappels anatomiques, stabilités, mobilités, contraintes : membres, tête, tronc*. Elsevier Masson. 2017.
- [11] Dixit S, DiFiori JP, Burton M, et al. Management of patellofemoral pain syndrome. *Am Fam Physician* 2007; 75: 194–202.
- [12] Glaviano NR, Kew M, Hart JM, et al. Demographic and epidemiological trends in patellofemoral pain. *Int J Sports Phys Ther* 2015; 10: 281–290.
- [13] Neal BS, Lack SD, Lankhorst NE, et al. Risk factors for patellofemoral pain: a systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine* 2018; 53: 270–281.

- [14] Smith BE, Selfe J, Thacker D, et al. Incidence and prevalence of patellofemoral pain: A systematic review and meta-analysis. *Plos one* 2018; 13: 1–18.
- [15] Thijs Y, Pattyn E, Van Tiggelen D, et al. Is Hip Muscle Weakness a Predisposing Factor for Patellofemoral Pain in Female Novice Runners? A Prospective Study. *The American Journal of Sports Medicine* 2011; 39: 1877–1882.
- [16] Dye SF. The Pathophysiology of Patellofemoral Pain: A Tissue Homeostasis Perspective. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 2005; 100–110.
- [17] Schindler OS, Scott WN. Basic kinematics and biomechanics of the patello-femoral joint. Part 1: The native patella. *Acta Orthop Belg* 2011; 77: 421–431.
- [18] Powers CM, Witvrouw E, Davis IS, et al. Evidence-based framework for a pathomechanical model of patellofemoral pain: 2017 patellofemoral pain consensus statement from the 4th International Patellofemoral Pain Research Retreat, Manchester, UK: part 3. *British Journal of Sports Medicine* 2017; 51: 1713–1723.
- [19] Powers C, Bolgla L, Callaghan M, et al. Patellofemoral Pain: Proximal, Distal, and Local Factors—2nd International Research Retreat, August 31–September 2, 2011, Ghent, Belgium. *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy* 2012; 42: 1–54.
- [20] Heino Brechter J, Powers CM. Patellofemoral stress during walking in persons with and without patellofemoral pain. *Med Sci Sports Exerc* 2002; 34: 1582–1593.
- [21] Fredericson M, Yoon K. Physical Examination and Patellofemoral Pain Syndrome: *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation* 2006; 85: 234–243.
- [22] Ho K-Y, Hu HH, Colletti PM, et al. Recreational runners with patellofemoral pain exhibit elevated patella water content. *Magn Reson Imaging* 2014; 32: 965–968.
- [23] Petersen W, Rembitzki I, Liebau C. Patellofemoral pain in athletes. *Open Access Journal of Sports Medicine* 2017; 8: 143–154.
- [24] Treede R-D, Rief W, Barke A, et al. Chronic pain as a symptom or a disease: the IASP Classification of Chronic Pain for the International Classification of Diseases (ICD-11). *PAIN* 2019; 160: 19–27.
- [25] Osinski T, Lallemand A, Russo T. Modulation et dérèglements neurophysiologiques des voies de la douleur. *Kinésithérapie, la Revue* 2017; 17: 16–32.
- [26] Van der Heijden RA, Rijndertse MM, Bierma-Zeinstra SMA, et al. Lower Pressure Pain Thresholds in Patellofemoral Pain Patients, Especially in Female Patients: A Cross-Sectional Case-Control Study. *Pain Medicine* 2018; 19: 184–192.
- [27] Rathleff MS, Rathleff CR, Stephenson A, et al. Adults with patellofemoral pain do not exhibit manifestations of peripheral and central sensitization when compared to healthy pain-free age and sex matched controls – An assessor blinded cross-sectional study. *Plos One* 2017; 12: 1–12.
- [28] Sanchis-Alfonso V. Holistic approach to understanding anterior knee pain. Clinical implications. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* 2014; 22: 2275–2285.

- [29] Vicenzino B, Maclachlan L, Rathleff MS. Taking the pain out of the patellofemoral joint: articulating a bone of contention. *British Journal of Sports Medicine* 2019; 53: 268–269.
- [30] Maclachlan LR, Collins NJ, Matthews MLG, et al. The psychological features of patellofemoral pain: a systematic review. *British Journal of Sports Medicine* 2017; 51: 732–742.
- [31] Drew BT, Redmond AC, Smith TO, et al. Which patellofemoral joint imaging features are associated with patellofemoral pain? Systematic review and meta-analysis. *Osteoarthritis and Cartilage* 2016; 24: 224–236.
- [32] Nakagawa T, Serrão F, Maciel C, et al. Hip and Knee Kinematics are Associated with Pain and Self-reported Functional Status in Males and Females with Patellofemoral Pain. *International Journal of Sports Medicine* 2013; 34: 997–1002.
- [33] de Oliveira Silva D, Briani RV, Pazzinatto MF, et al. Reduced knee flexion is a possible cause of increased loading rates in individuals with patellofemoral pain. *Clinical Biomechanics* 2015; 30: 971–975.
- [34] Pal S, Besier TF, Beaupre GS, et al. Patellar maltracking is prevalent among patellofemoral pain subjects with patella alta: An upright, weightbearing MRI study. *Journal of Orthopaedic Research* 2013; 31: 448–457.
- [35] Powers CM. Patellar Kinematics, Part II: The Influence of the Depth of the Trochlear Groove in Subjects With and Without Patellofemoral Pain. *Physical Therapy* 2000; 80: 965–972.
- [36] Harbaugh CM, Wilson NA, Sheehan FT. Correlating femoral shape with patellar kinematics in patients with patellofemoral pain. *Journal of Orthopaedic Research* 2010; 28: 865–872.
- [37] Schoots EJM, Tak IJR, Veenstra BJ, et al. Ultrasound characteristics of the lateral retinaculum in 10 patients with patellofemoral pain syndrome compared to healthy controls. *Journal of Bodywork and Movement Therapies* 2013; 17: 523–529.
- [38] Hudson Z, Darthuy E. Iliotibial band tightness and patellofemoral pain syndrome: A case-control study. *Manual Therapy* 2009; 14: 147–151.
- [39] Witvrouw E, Callaghan MJ, Stefanik JJ, et al. Patellofemoral pain: consensus statement from the 3rd International Patellofemoral Pain Research Retreat held in Vancouver, September 2013. *British Journal of Sports Medicine* 2014; 48: 411–414.
- [40] Witvrouw E, Lysens R, Bellemans J, et al. Intrinsic risk factors for the development of anterior knee pain in an athletic population. A two-year prospective study. *Am J Sports Med* 2000; 28: 480–489.
- [41] Dolto BJ. *Le Corps entre les mains*. Paris: Hermann, 1978.
- [42] Boling MC, Padua DA, Marshall SW, et al. A Prospective Investigation of Biomechanical Risk Factors for Patellofemoral Pain Syndrome: The Joint Undertaking to Monitor and Prevent ACL Injury (JUMP-ACL) Cohort. *The American Journal of Sports Medicine* 2009; 37: 2108–2116.

- [43] Barton CJ, Levinger P, Crossley KM, et al. The relationship between rearfoot, tibial and hip kinematics in individuals with patellofemoral pain syndrome. *Clinical Biomechanics* 2012; 27: 702–705.
- [44] Almeida GPL, Carvalho e Silva AP de MC, França FJR, et al. Does anterior knee pain severity and function relate to the frontal plane projection angle and trunk and hip strength in women with patellofemoral pain? *Journal of Bodywork and Movement Therapies* 2015; 19: 558–564.
- [45] Teng H-L, Powers CM. Sagittal Plane Trunk Posture Influences Patellofemoral Joint Stress During Running. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy* 2014; 44: 785–792.
- [46] Wong Y. Recording the vastii muscle onset timing as a diagnostic parameter for patellofemoral pain syndrome: Fact or fad? *Physical Therapy in Sport* 2009; 10: 71–74.
- [47] Piva SR, Goodnite EA, Childs JD. Strength Around the Hip and Flexibility of Soft Tissues in Individuals With and Without Patellofemoral Pain Syndrome. *J Orthop Sports Phys Ther* 2005; 35: 793–802.
- [48] Draper CE, Besier TF, Gold GE, et al. Is cartilage thickness different in young subjects with and without patellofemoral pain? *Osteoarthritis and Cartilage* 2006; 14: 931–937.
- [49] Farrokhi S, Colletti PM, Powers CM. Differences in Patellar Cartilage Thickness, Transverse Relaxation Time, and Deformational Behavior: A Comparison of Young Women With and Without Patellofemoral Pain. *The American Journal of Sports Medicine* 2011; 39: 384–391.
- [50] Leeuw M, Goossens MEJB, Linton SJ, et al. The Fear-Avoidance Model of Musculoskeletal Pain: Current State of Scientific Evidence. *Journal of Behavioral Medicine* 2007; 30: 77–94.
- [51] Collins NJ, Bisset LM, Crossley KM, et al. Efficacy of Nonsurgical Interventions for Anterior Knee Pain: Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Trials. *Sports Medicine* 2012; 42: 31–49.
- [52] Stathopulu E, Baildam E. Anterior knee pain: a long-term follow-up. *Rheumatology* 2003; 42: 380–382.
- [53] Sandow MJ, Goodfellow JW. The natural history of anterior knee pain in adolescents. *J Bone Joint Surg Br* 1985; 67: 36–38.
- [54] Blønd L, Hansen L. Patellofemoral pain syndrome in athletes: A 5.7-Year retrospective follow-up study of 250 athletes. *Acta orthopaedica Belgica* 1999; 64: 393–400.
- [55] Matthews M, Rathleff MS, Claus A, et al. Can we predict the outcome for people with patellofemoral pain? A systematic review on prognostic factors and treatment effect modifiers. *Br J Sports Med* 2016; 51: 1650–1660.
- [56] Thomas MJ, Wood L, Selfe J, et al. Anterior knee pain in younger adults as a precursor to subsequent patellofemoral osteoarthritis: a systematic review. *BMC Musculoskeletal Disorders* 2010; 11: 201–209.

- [57] Crossley KM. Is patellofemoral osteoarthritis a common sequela of patellofemoral pain? *British Journal of Sports Medicine* 2014; 48: 409–410.
- [58] Collins NJ, Oei EHG, Kanter JL, et al. Prevalence of Radiographic and Magnetic Resonance Imaging Features of Patellofemoral Osteoarthritis in Young and Middle-Aged Adults With Persistent Patellofemoral Pain. *Arthritis Care & Research*. Epub ahead of print 3 July 2019. DOI: 10.1002/acr.23726.
- [59] Almeida MO, Davis IS, Lopes AD. Biomechanical Differences of Foot-Strike Patterns During Running: A Systematic Review With Meta-analysis. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy* 2015; 45: 738–755.
- [60] de Almeida MO, Saragiotto BT, Yamato TP, et al. Is the rearfoot pattern the most frequently foot strike pattern among recreational shod distance runners? *Physical Therapy in Sport* 2014; 16: 29–33.
- [61] Larson P, Higgins E, Kaminski J, et al. Foot strike patterns of recreational and sub-elite runners in a long-distance road race. *Journal of Sports Sciences* 2011; 29: 1665–1673.
- [62] Hasegawa H, Yamauchi T, Kraemer WJ. Foot strike pattern of runners at the 15-km point during an elite-level half marathon. 2007; 21: 888–893.
- [63] Indice minimaliste. *La Clinique Du Coureur*, <https://lacliniqueducoureur.com/indice-minimaliste/> (accessed 2 October 2019).
- [64] Esculier J-F, Dubois B, Bouyer LJ, et al. Footwear characteristics are related to running mechanics in runners with patellofemoral pain. *Gait Posture* 2017; 54: 144–147.
- [65] Sackett DL, Rosenberg WM, Gray JA, et al. Evidence based medicine: what it is and what it isn't. *BMJ* 1996; 312: 71–72.
- [66] Agresta C, Brown A. Gait Retraining for Injured and Healthy Runners Using Augmented Feedback: A Systematic Literature Review. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy* 2015; 45: 576–584.
- [67] Roper JL, Harding EM, Doerfler D, et al. The effects of gait retraining in runners with patellofemoral pain: A randomized trial. *Clinical Biomechanics* 2016; 35: 14–22.
- [68] dos Santos AF, Nakagawa TH, Lessi GC, et al. Effects of three gait retraining techniques in runners with patellofemoral pain. *Physical Therapy in Sport* 2019; 36: 92–100.
- [69] Bonacci J, Vicenzino B, Spratford W, et al. Take your shoes off to reduce patellofemoral joint stress during running. *British Journal of Sports Medicine* 2014; 48: 425–428.
- [70] Sinclair J. Effects of barefoot and barefoot inspired footwear on knee and ankle loading during running. *Clinical Biomechanics* 2014; 29: 395–399.
- [71] Sinclair J, Richards J, Selfe J, et al. The Influence of Minimalist and Maximalist Footwear on Patellofemoral Kinetics During Running. *Journal of Applied Biomechanics* 2016; 32: 359–364.
- [72] Vannatta CN, Kernozek TW. Patellofemoral Joint Stress during Running with Alterations in Foot Strike Pattern: *Medicine & Science in Sports & Exercise* 2015; 47: 1001–1008.

- [73] Willson JD, Ratcliff OM, Meardon SA, et al. Influence of step length and landing pattern on patellofemoral joint kinetics during running: Running modifications affect PFJ kinetics. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 2015; 25: 736–743.
- [74] Esculier J-F, Bouyer LJ, Dubois B, et al. Is combining gait retraining or an exercise programme with education better than education alone in treating runners with patellofemoral pain? A randomised clinical trial. *British Journal of Sports Medicine* 2018; 52: 659–666.
- [75] Kulmala J-P, Avela J, Pasanen K, et al. Forefoot Strikers Exhibit Lower Running-Induced Knee Loading than Rearfoot Strikers. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 2013; 45: 2306–2313.
- [76] Bonacci J, Hall M, Saunders N, et al. Gait retraining versus foot orthoses for patellofemoral pain: a pilot randomised clinical trial. *Journal of Science and Medicine in Sport* 2017; 21: 457–461.
- [77] Wirtz AD, Willson JD, Kernozek TW, et al. Patellofemoral joint stress during running in females with and without patellofemoral pain. *The Knee* 2011; 19: 703–708.
- [78] Brechter JH, Powers CM. Patellofemoral joint stress during stair ascent and descent in persons with and without patellofemoral pain. *Gait & Posture* 2001; 16: 115–123.
- [79] Acapo S, Seyrès P, Savignat E. Définition et évaluation de la douleur. *Kinésithérapie, la Revue* 2017; 17: 44–55.
- [80] Conseils généraux. *La Clinique Du Coureur*, <https://lacliniqueducoureur.com/coueurs/apprendre/outils-educatifs/outils-educatifs/conseils-generaux/conseils-generaux/> (2019, accessed 2 October 2019).
- [81] Rodineau J, Besch S. Les syndromes fémoro-patellaires douloureux chez les adultes jeunes. *Journal de Traumatologie du Sport* 2017; 34: 177–184.
- [82] Schardt C, Adams MB, Owens T, et al. Utilization of the PICO framework to improve searching PubMed for clinical questions. *BMC Med Inform Decis Mak* 2007; 7: 16.
- [83] Dignen B. *CRD's guidance for undertaking reviews in health care*. England: Centre for Reviews and Dissemination, 2009.
- [84] Lankhorst NE, Damen J, Oei EH, et al. Incidence, prevalence, natural course and prognosis of patellofemoral osteoarthritis: the Cohort Hip and Cohort Knee study. *Osteoarthritis and Cartilage* 2016; 25: 647–653.
- [85] Downs SH, Black N. The feasibility of creating a checklist for the assessment of the methodological quality both of randomised and non-randomised studies of health care interventions. *Journal of Epidemiology & Community Health* 1998; 52: 377–384.
- [86] Porta M. *A Dictionary of Epidemiology*. Oxford University Press, 2014.
- [87] Greenland S, Senn SJ, Rothman KJ, et al. Statistical tests, P values, confidence intervals, and power: a guide to misinterpretations. *Eur J Epidemiol* 2016; 31: 337–350.
- [88] Kung. From Systematic Reviews to Clinical Recommendations for Evidence Based Health Care: Validation of Revised Assessment of Multiple Systematic Reviews (R---

- AMSTAR) for Grading of Clinical Relevance. , 2010, 4: *The Open Dentistry Journal* 2010; 4: 84--91.
- [89] Sullivan GM, Feinn R. Using Effect Size—or Why the P Value Is Not Enough. *J Grad Med Educ* 2012; 4: 279–282.
 - [90] Cheung RTH, Davis IS. Landing Pattern Modification to Improve Patellofemoral Pain in Runners: A Case Series. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy* 2011; 41: 914–919.
 - [91] Neal BS, Barton CJ, Birn-Jeffrey A, et al. The effects & mechanisms of increasing running step rate: A feasibility study in a mixed-sex group of runners with patellofemoral pain. *Physical Therapy in Sport* 2018; 32: 244–251.
 - [92] Bramah C, Preece SJ, Gill N, et al. A 10% Increase in Step Rate Improves Running Kinematics and Clinical Outcomes in Runners With Patellofemoral Pain at 4 Weeks and 3 Months. *The American Journal of Sports Medicine* 2019; 20: 1–8.
 - [93] Crossley KM, Bennell KL, Cowan SM, et al. Analysis of outcome measures for persons with patellofemoral pain: which are reliable and valid?11No commercial party having a direct financial interest in the results of the research supporting this article has or will confer a benefit upon the author(s) or upon any organization with which the author(s) is/are associated. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 2004; 85: 815–822.
 - [94] Piva S, Gil A, Moore C, et al. Responsiveness of the activities of daily living scale of the knee outcome survey and numeric pain rating scale in patients with patellofemoral pain. *Journal of Rehabilitation Medicine* 2008; 41: 129–135.
 - [95] Binkley JM, Stratford PW, Lott SA, et al. The Lower Extremity Functional Scale (LEFS): Scale Development, Measurement Properties, and Clinical Application. *Physical Therapy* 1999; 79: 371–384.
 - [96] Lenhart RL, Thelen DG, Wille CM, et al. Increasing Running Step Rate Reduces Patellofemoral Joint Forces: *Medicine & Science in Sports & Exercise* 2013; 46: 557–564.
 - [97] Cavanagh PR, Williams KR. The effect of stride length variation on oxygen uptake during distance running. *Med Sci Sports Exerc* 1982; 14: 30–35.
 - [98] Heiderscheit BC, Chumanov ES, Michalski MP, et al. Effects of Step Rate Manipulation on Joint Mechanics during Running: *Medicine & Science in Sports & Exercise* 2010; 43: 296–302.
 - [99] Willy RW, Buchenic L, Rogacki K, et al. In-field gait retraining and mobile monitoring to address running biomechanics associated with tibial stress fracture: In-field gait retraining and monitoring. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 2016; 26: 197–205.
 - [100] Willy RW, Meardon SA, Schmidt A, et al. Changes in tibiofemoral contact forces during running in response to in-field gait retraining. *Journal of Sports Sciences* 2015; 34: 1602–1611.
 - [101] Willy RW, Scholz JP, Davis IS. Mirror gait retraining for the treatment of patellofemoral pain in female runners. *Clinical Biomechanics* 2012; 27: 1045–1051.

- [102] Noehren B, Scholz J, Davis I. The effect of real-time gait retraining on hip kinematics, pain and function in subjects with patellofemoral pain syndrome. *British Journal of Sports Medicine* 2011; 45: 691–696.
- [103] Davis I. Optimising the efficacy of gait retraining. *British Journal of Sports Medicine* 2017; 52: 624–625.
- [104] Morichon A, Pallot A. Le Taping : à l'épreuve des faits ? Revue des revues systématiques. *Kinésithérapie, la Revue* 2014; 14: 34–66.
- [105] Gruber AH, Silvernail JF, Brueggemann P, et al. Footfall patterns during barefoot running on harder and softer surfaces. *Footwear Science* 2012; 5: 39–44.
- [106] Edwards WB, Taylor D, Rudolphi TJ, et al. Effects of stride length and running mileage on a probabilistic stress fracture model. *Med Sci Sports Exerc* 2009; 41: 2177–2184.
- [107] Zadpoor AA, Nikooyan AA. The relationship between lower-extremity stress fractures and the ground reaction force: A systematic review. *Clinical Biomechanics* 2011; 26: 23–28.
- [108] Milner CE, Ferber R, Pollard CD, et al. Biomechanical Factors Associated with Tibial Stress Fracture in Female Runners: *Medicine & Science in Sports & Exercise* 2005; 38: 323–328.
- [109] Pohl MB, Hamill J, Davis IS. Biomechanical and Anatomic Factors Associated with a History of Plantar Fasciitis in Female Runners. *Clinical Journal of Sport Medicine* 2009; 19: 372–376.
- [110] IASP Terminology - IASP, <https://www.iasp-pain.org/Education/Content.aspx?ItemNumber=1698> (accessed 13 October 2019).
- [111] Souza RB, Draper CE, Fredericson M, et al. Femur rotation and patellofemoral joint kinematics: a weight-bearing magnetic resonance imaging analysis. *J Orthop Sports Phys Ther* 2010; 40: 277–285.
- [112] Meira EP, Brumitt J. Influence of the Hip on Patients With Patellofemoral Pain Syndrome: A Systematic Review. *Sports Health: A Multidisciplinary Approach* 2011; 3: 455–465.
- [113] Neal BS, Griffiths IB, Dowling GJ, et al. Foot posture as a risk factor for lower limb overuse injury: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Foot and Ankle Research* 2014; 7: 55–68.
- [114] de Oliveira Silva D, Briani R, Pazzinatto M, et al. Vertical Ground Reaction Forces are Associated with Pain and Self-Reported Functional Status in Recreational Athletes with Patellofemoral Pain. *Journal of Applied Biomechanics* 2015; 31: 409–414.
- [115] Utting MR, Davies G, Newman JH. Is anterior knee pain a predisposing factor to patellofemoral osteoarthritis? *The Knee* 2004; 12: 362–365.
- [116] Mauss M. Les techniques du corps. *Journal de Psychologie*, 1934.

- [117] Rathleff M, Rathleff C, Holden S, et al. Exercise therapy, patient education, and patellar taping in the treatment of adolescents with patellofemoral pain: A prospective pilot study with 6 months follow-up. *Pilot and Feasibility Studies* 2018; 4: 73–82.
- [118] Barton CJ, Rathleff MS. ‘Managing My Patellofemoral Pain’: the creation of an education leaflet for patients. *BMJ Open Sport Exerc Med* 2016; 2: 1–5.
- [119] Esculier J-F, Roy J-S, Bouyer L. *Le syndrome fémoropatellaire chez les coureurs : effets de différentes approches de réadaptation basées sur les mécanismes sous-jacents*. Laval, <https://corpus.ulaval.ca/jspui/handle/20.500.11794/27727> (2017, accessed 12 March 2020).
- [120] Laprade JA, Culham EG. A self-administered pain severity scale for patellofemoral pain syndrome. *Clinical Rehabilitation* 2002; 16: 780–788.
- [121] Kaux JF, Buckinx F, Borheim S, et al. Adaptation interculturelle du questionnaire Kujala Anterior Knee Pain Scale pour les patients francophones. *Journal de Traumatologie du Sport* 2018; 35: 62.

ANNEXES

<i>Annexe I: L'analyse des foulées dans la course à pied</i>	62
<i>Annexe II: Méthode de recherche préliminaire pour l'exploration de la thématique (Introduction scientifique)</i>	66
<i>Annexe III : La quantification du stress mécanique</i>	68
<i>Annexe IV: Explication du mécanisme de sensibilisation périphérique et centrale dans la douleur</i>	69
<i>Annexe V: Modélisation des interactions entre les FDR du SFP</i>	70
<i>Annexe VI: Le SFP est-il un facteur de risque d'arthrose ?</i>	74
<i>Annexe VII: L'importance des facteurs psychosociaux dans la course à pied</i>	75
<i>Annexe VIII: Impact de la foulée minimaliste sur les contraintes FP et les forces d'impact verticales</i>	76
<i>Annexe IX: L'éducation du patient atteint d'un SFP</i>	78
<i>Annexe X: Lignes directrices PRISMA renseignées (Moher et al., 2009)</i>	82
<i>Annexe XI: Niveaux de preuves d'après le NHMRC (version française 2009)</i>	84
<i>Annexe XII: Qualité des études selon l'Echelle Downs and Blacks 1998 (Traduite, modifiée et renseignée) :</i>	86
<i>Annexe XIII: Évaluation de la qualité méthodologique de la revue systématique grâce à la grille R-AMSTAR (renseignée)</i>	91
<i>Annexe XIV: Échelles visuelles analogiques (EVA) de la douleur habituelle, de la pire douleur et de la pire douleur pendant la course</i>	98
<i>Annexe XV: Échelle de douleur Patellofemoral Pain Syndrome Severity Scale (PSS)</i>	99
<i>Annexe XVI: Échelle Kujala ou Anterior Knee Pain Scale (AKPS)</i>	100
<i>Annexe XVII: Échelle Knee Outcome Survey Activities of Daily Living Scale (KOS-ADLS)</i>	101
<i>Annexe XVIII: Échelle Lower Extremity Functional Scale (LEFS)</i>	103
<i>Annexe XIX: Les raisons physiologiques d'une amélioration des symptômes lors du passage à une foulée minimaliste</i>	104
<i>Annexe XX: Formulation de recommandations d'après les grilles NHMRC</i>	108

Annexe I: L'analyse des foulées dans la course à pied

Il existe différentes foulées dans la course à pied. Les caractéristiques rattachées à chacune d'entre-elles, leurs intérêts et limites sont présentés ici.

Proportion des différentes foulées dans la population et suivant le niveau de course à pied

Trois études ont calculé les proportions d'attaque « arrière, médio et avant-pied » [60–62]. En analysant ces études, il semble y avoir une corrélation entre le niveau de course et l'attaque du pied au sol [60–62]. Ainsi plus le niveau de course est élevé et plus la proportion de coureurs ayant une foulée minimaliste augmente [60–62]. Chez cinq-cent-quatorze coureurs récréatifs chaussés, recrutés dans des parcs publics au Brésil, la majorité des coureurs soit 95% avaient une attaque dite « arrière-pied », 4% « médio-pied » et 1% « avant-pied » [60]. Lors d'une course aux Etats-Unis chez des coureurs de semi-marathons et de marathons complets, 90% des coureurs avaient une foulée « arrière-pied », 3% « médio-pied », 2% « avant-pied » et pour 5% des coureurs la foulée était asymétrique [61]. Ensuite, lors d'un semi-marathon international au Japon rassemblant des coureurs élites, seulement 75% couraient avec une attaque « arrière-pied », tandis que 23% avaient une foulée « médio-pied » et 2% « avant-pied » [62]. En conclusion, bien que la proportion diminue avec le niveau de course à pied, la majorité des coureurs ont une foulée habituelle « arrière-pied ».

Pourquoi la foulée « arrière-pied » est-elle majoritaire ?

Le développement des chaussures modernes renforcées permettant un atterrissage plus souple et agréable pourrait expliquer ce constat [4, 59]. En effet, les chaussures maximalistes sont en plein essor depuis une cinquantaine d'années présentent des semelles plus épaisses apportant un soutien à la voûte plantaire avec pour objectif d'amortir l'impact du pied au sol [4, 59]. Le drop représenté dans la *Figure V* est la différence de hauteur entre le talon et les orteils [63]. Ainsi courir avec des chaussures maximalistes ou sur une surface molle comme de l'herbe est plutôt associé à une foulée « arrière-pied » [64, 105]. Tandis que courir sur une surface dure avec des chaussures dites minimalistes entraîne une foulée « avant-pied » [64, 105]. Une chaussure minimaliste est définie par La Clinique Du Coureur™ par « sa grande flexibilité, son faible drop, son faible poids, sa faible épaisseur au talon, et l'absence de technologies de stabilité et de contrôle du mouvement » [63]. La *Figure VI* montre différents types de chaussures triées par ordre décroissant d'indice minimaliste.



Figure V: Image représentant le DROP, différence de hauteur entre le talon et les orteils (D'après La Clinique Du Coureur™) [64]

Figure VI: Chaussures de course à pied suivant l'indice minimaliste (D'après La Clinique Du Coureur™) [64]

L'analyse des foulées d'un point de vue cinématique, spatiotemporel et cinétique

D'un point de vue cinématique, deux revues systématiques de 2015 explorent les différences biomécaniques c'est à dire les moments articulaires entre les différents types de foulées chez le coureur [3, 59]. Les stratégies distales ont montré une efficacité supérieure aux stratégies proximales [3]. Manipuler l'impact du pied au sol par une attaque avant-pied s'est traduit par une augmentation de la flexion plantaire selon des preuves solides tandis que les preuves sont contradictoires concernant la modification des amplitudes de hanche [3]. Ainsi, une attaque « avant-pied » se caractérise par une flexion plantaire de cheville et une flexion de genou accrues tandis que l'attaque « arrière-pied » par un atterrissage en flexion dorsale de cheville et un genou en extension [59]. L'augmentation de la flexion de genou est sûrement due à la diminution de la longueur de pas dans la foulée « avant-pied » [59].

D'un point de vue spatiotemporel, on s'intéresse à la cadence, la longueur de pas et le temps de contact au sol. Le passage à une foulée minimaliste est décrit comme associé à une diminution de la longueur des foulées et une augmentation de la cadence [3]. Diminuer la longueur de pas entraîne un atterrissage plus vertical du tibia et explique alors une foulée plus à tendance « avant-pied » [3, 4]. Les coureurs augmentent alors le temps d'oscillation au détriment de la phase d'appui [3]. De plus, une plus petite longueur de pas et un temps de contact au sol plus court seraient associés à une probabilité de fracture de fatigue moindre de 3 à 6% [106]. Néanmoins, cette conclusion est tirée d'une étude probabiliste menée grâce à des modélisations mathématiques et non d'une étude prospective épidémiologique. Il est donc difficile d'affirmer une réelle corrélation entre la diminution de la longueur de la foulée et la prévention des fractures de fatigue, mais diminuer la longueur de la foulée semble encourageant [106].

D'un point de vue cinétique la *Figure VII* est une courbe qui représente la force de réaction verticale au sol (la force exercée par le corps lorsqu'il rentre en contact avec le sol) en fonction du temps lors des foulées (A) « arrière-pied » et (B) « avant-pied » [4]. Les données cinétiques traitent des charges appliquées au squelette. On peut observer sur ces courbes deux pics :

(1) Le premier est le « pic d'impact vertical », en rouge est un pic passif dû à la pose du pied au sol qui crée une onde qui est ensuite propagée dans le squelette [4]. Comme le montre la courbe, le pic d'impact vertical est minime voir nul lors de l'attaque « avant-pied » comparativement à « l'attaque arrière-pied » [4].

(2) Le deuxième, en vert se nomme « la force active verticale » ou « le pic de propulsion » et correspond à la propulsion du coureur, quand le pied quitte le sol [4]. Il n'y a pas de différence statistiquement significative pour le pic de propulsion entre les deux foulées [4].

Le taux de charge vertical en bleu correspond à la pente permettant d'arriver au premier pic et permet donc d'estimer la vitesse à laquelle la force de réaction atteint le pic d'impact vertical [107]. La foulée avant-pied permet également de diminuer le taux de charge vertical et ainsi l'inclinaison de la courbe [4].

Une étude prospective sur deux-cent-quarante coureuses « arrière-pied » a montré que le taux de charge vertical instantané, le pic d'impact vertical et le pic de choc tibial étaient significativement inférieurs à l'exception du taux de charge vertical moyen dans le groupe n'ayant pas eu de blessure liée à la course à pied par rapport à celui qui en a développé dans les deux années suivantes [5]. Ainsi, un impact important serait associé à un risque accru de développer des blessures comme des fractures de fatigue, un SFP, un syndrome de la bandelette iliotibiale, un syndrome de stress tibial ou une fasciite plantaire [5].

Concernant la force de réaction verticale au sol représentée par la flèche en noir sur la *Figure VII*, bien qu'elle diminue avec la foulée « avant-pied » [4], la relation avec un risque moindre de blessure [5] ou des antécédents de fracture de fatigue [107] n'est pas statistiquement significative.

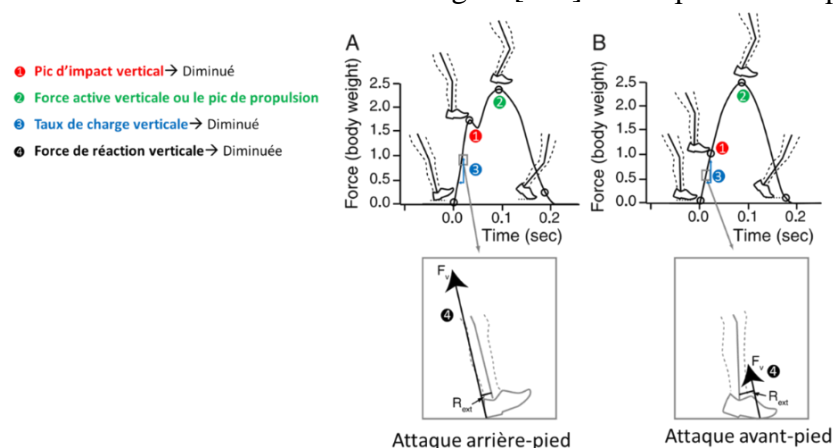


Figure VII: Courbes représentant la force de réaction verticale au sol en fonction du temps chez des coureurs ayant une attaque naturelle arrière-pied (A) et avant-pied (B) (D'après Lieberman et al., 2012, modifié) [4]

Impact des foulées sur le risque de blessure

L'évolution des chaussures est associée à un changement de foulée. Or la modification de la foulée n'est pas sans conséquence. L'épaisseur de la chaussure diminue les capacités de proprioception et donc d'adaptation du pied sur différentes surfaces [4]. De plus, ce type de chaussure soutenant la voûte plantaire contribue à une musculature intrinsèque et extrinsèque du pied moins développée [4]. Ces deux éléments augmentent le risque de blessure [4]. Des chaussures minimalistes peuvent être proposées aux coureurs afin de lutter contre le manque de proprioception et de musculature du pied.

Passer d'une attaque « arrière-pied » à une attaque « avant-pied » est une stratégie de modification du patron de course utilisée afin de prévenir ou traiter certaines blessures du membre inférieur [67, 68, 74, 90, 107]. Lors du contact initial, la contraction excentrique du triceps sural freine l'atterrissage du pied au sol et amortit ainsi les pics d'impact et les contraintes axiales transmises au squelette [59].

Ainsi, en plus de réduire l'impact, de favoriser le retour sensoriel et la musculature du pied, la foulée minimaliste permettrait de réaliser une économie d'énergie et de meilleures performances en course à pied [4]. L'économie d'énergie serait le résultat du stockage et de la restitution de la force sous forme de retour élastique du triceps sural et de l'arche plantaire [4].

Limites de la foulée minimaliste et précautions lors d'un changement de foulée

Néanmoins, changer de foulée peut provoquer des blessures. L'activité excentrique accrue du triceps sural n'est pas négligeable et peut-être source de douleurs si le changement de foulée est trop rapide ou non préparé [59]. Il y a alors un risque accru de tendinopathie d'Achille, et de tension au niveau du triceps sural [59]. Les muscles de la voûte plantaire sont également sollicités car luttent contre son affaissement. Ainsi, lors d'un changement de foulée ou d'un chaussage minimaliste non préparé correctement, le coureur s'expose à un risque de blessures du fait d'un stress musculaire trop important [4]. Les structures osseuses peuvent aussi être touchées avec un risque de métatarsalgie ou de fracture de fatigue accru [4]. Dans le cas d'un changement de foulée, la transition doit donc être progressive en intensité dans le temps et être accompagnée d'un renforcement de la voûte plantaire et du mollet.

Annexe II: Méthode de recherche préliminaire pour l'exploration de la thématique (Introduction scientifique)

Le *Tableau XI* résume la méthodologie (équations de recherche et bases de données) lors des premières recherches sur la thématique : la modification du schéma de course chez le coureur blessé. Ces recherches concernaient l'épidémiologie des blessures dans la course à pied, l'épidémiologie du SFP dans la population en général, les recommandations du SFP et les modifications du patron de course.

Thématique	Épidémiologie des blessures chez le coureur	Epidémiologie SFP	Recommandations SFP	Changement de foulée
Bases de données	PEDro REHAB+ Pubmed Sciencedirect	PEDro REHAB+ Pubmed Sciencedirect	PEDro la Cochrane REHAB + HAS Pubmed JOSPT	Pubmed Science direct
Moteur de recherche	Google Scholar	Google Scholar		Google scholar
Mots-clés				
1 injuries	X			
2 runners	X			
3 (incidence AND prevalence) OR (epidemiology)	X	X		
4 patellofemoral pain OR patellofemoral syndrome		X	X	
5 recommandations			X	
6 interventions			X	
7 Running retraining OR Gait retraining OR Minimalist OR Forefoot pattern OR Midfoot pattern OR strike pattern				X
8 Runners OR Recreational runners OR Competitive runners OR Highly trained runners				X
9 Impact				X
Equations de recherche	1+2+3	3+4	4+5+6	7+8+9

Tableau XI: Méthode de recherche préliminaire

Ensuite, le *Tableau XII* synthétise les idées principales traitées des articles utilisés pour l'élaboration de la problématique initiale. Il s'agit de trois méta-analyses [14, 59, 107] et de trois revues systématiques [1, 3, 7].

Auteurs	Année	Titre	Source	Niveau de preuve	Idées traitées	principales
Francis et al	2018	The Proportion of Lower Limb Running Injuries by Gender, Anatomical Location and Specific Pathology	Revue systématique	1	Épidémiologie des blessures chez le coureur	
Smith et al	2018	Incidence and prevalence of patellofemoral pain	Méta-analyse	1	Epidémiologie SFP	
Collins et al.	2018	Consensus statement on exercise therapy and physical interventions (orthoses, taping and manual therapy) to treat patellofemoral pain: recommendations from the 5th International Patellofemoral Pain Research Retreat, Gold Coast, Australia, 2017	Revue systématique	1	Recommandations SFP	
Napier et al	2015	Gait modifications to change lower extremity gait biomechanics in runners	Revue systématique	1	Changement de foulée d'un point de vue cinématique, cinétique et spatiotemporel	
Zadpoor et al	2011	The relationship between lower-extremity stress fractures and the ground reaction force	Méta-analyse	1	Changement de foulée d'un point de vue cinétique	
Almeida et al	2015	Biomechanical Differences of Foot-Strike Patterns During Running	Méta-analyse	1	Les différences biomécaniques entre les modèles de coups de pieds utilisés en course à pied.	

Tableau XII: Extraction des données des articles en vue de l'élaboration de ma question

Annexe III : La quantification du stress mécanique

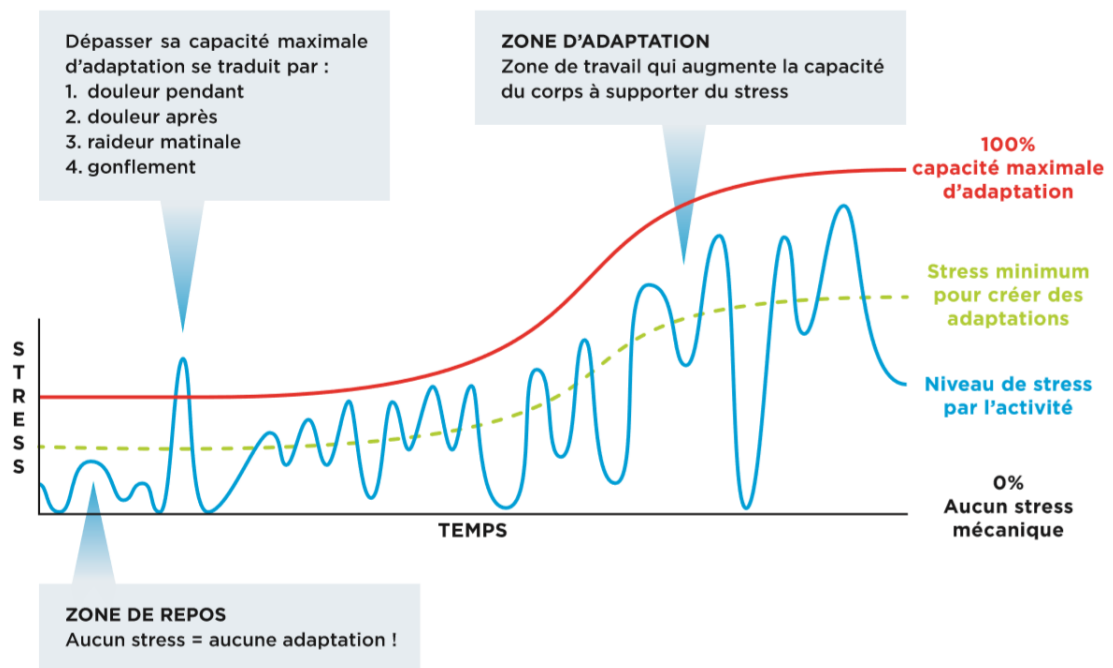


Figure VIII: La quantification du stress mécanique (D'après La Clinique Du Coureur™)[80]

La quantification du stress mécanique est une notion importante dans l'éducation du patient à la fois dans un but préventif, mais aussi curatif. Le sport comme la course à pied peut être à l'origine de blessures [80]. La douleur FP, la plus fréquente affection chez le coureur [1] est décrite à la suite d'un stress mécanique trop important [16, 18]. La *Figure VIII* ci-dessus présente différents niveaux de stress et leurs répercussions biologiques [80]. La courbe bleue représente le niveau de stress généré par l'activité [80]. L'effort peut être une activité de la vie quotidienne, une activité sportive ou le travail. Un repos total est négatif dans le cas du SFP car contribue à la chronicisation de la douleur [28–30]. Une fois la zone de repos dépassée, le corps s'adapte et permet une meilleure résistance aux contraintes notamment des structures osseuses et cartilagineuses [80]. Un seuil minimal représenté par la courbe verte est nécessaire aux adaptations [80]. La courbe rouge est le seuil maximal d'adaptation au stress au-delà duquel apparaissent des blessures de surutilisation [80]. Le patient doit être à l'écoute de ses symptômes comme l'apparition de douleur pendant/après l'effort, une raideur matinale ou un gonflement qui peuvent traduire une surcharge et un dépassement de la capacité maximale d'adaptation [80]. Le patient doit donc se situer dans la zone d'adaptation au stress entre ces deux courbes : rouge et verte [80]. Elle permet donc d'augmenter les capacités du corps à supporter des contraintes sans être néfaste [80].

Annexe IV: Explication du mécanisme de sensibilisation périphérique et centrale dans la douleur

Suite à cette perte d'homéostasie tissulaire, une modification de la perception de la douleur par une altération du traitement périphérique et central de la douleur pourrait expliquer le caractère chronique de la douleur FP [16].

L'association internationale d'étude de la douleur (IASP) définit la douleur comme « *Une expérience sensorielle et émotionnelle désagréable associée à des lésions tissulaires réelles ou potentielles, ou décrite en termes de telles lésions* » [110]. La sensibilisation nociceptive est « *une augmentation de la réponse des neurones nociceptifs pour des stimuli afférents normaux ou infra liminaires* » [110].

La douleur chronique dure plus de trois mois et persiste au-delà de la durée normale de guérison et d'inflammation des tissus [24]. Ainsi, la douleur qui est un mécanisme physiologique protecteur devient pathologique, car le seuil de la douleur est abaissé [25]. La douleur a ainsi tendance à persister dans le temps [25].

La sensibilisation périphérique est une hyperexcitabilité des neurones nociceptifs qui deviennent plus sensibles aux stimuli [25]. Suite au processus inflammatoire résultant d'une atteinte tissulaire, les seuils d'excitabilité des neurones peuvent diminuer, facilitant l'émission des potentiels d'action qui seront plus nombreux [25].

La sensibilisation centrale consiste en une hyperexcitabilité neuronale, une efficacité supérieure de la transmission synaptique et d'un défaut d'inhibition du système nerveux central au niveau de la moelle épinière et du cerveau dans le traitement de la douleur [25].

Le rôle de la sensibilisation dans la chronicité de la douleur FP diffère selon les études. Une étude de Van der Heijden et al montre que les personnes atteintes d'un SFP ont une hyperalgie locale et généralisée à la pression [26]. Néanmoins, une autre étude de Rathleff et al n'observe pas de différence pour la sensibilité à la pression entre les patients et les témoins sains [27]. Ainsi, la sensibilisation peut participer dans la chronicisation de la douleur FP, mais n'est pas systématique.

Annexe V: Modélisation des interactions entre les FDR du SFP

Bien que la physiopathologie ne soit pas tout à fait claire, plusieurs hypothèses sont émises.

Facteurs de risque intrinsèques

Lors de la quatrième réunion internationale sur le SFP, des experts se sont réunis pour construire un modèle résumant les interactions entre les facteurs biologiques (anatomiques et biomécaniques) à l'origine du SFP [18]. J'ai décidé de reprendre ce modèle en français, en y ajoutant les influences psychologiques et sociales dont parlent d'autres auteurs [26, 29, 30].

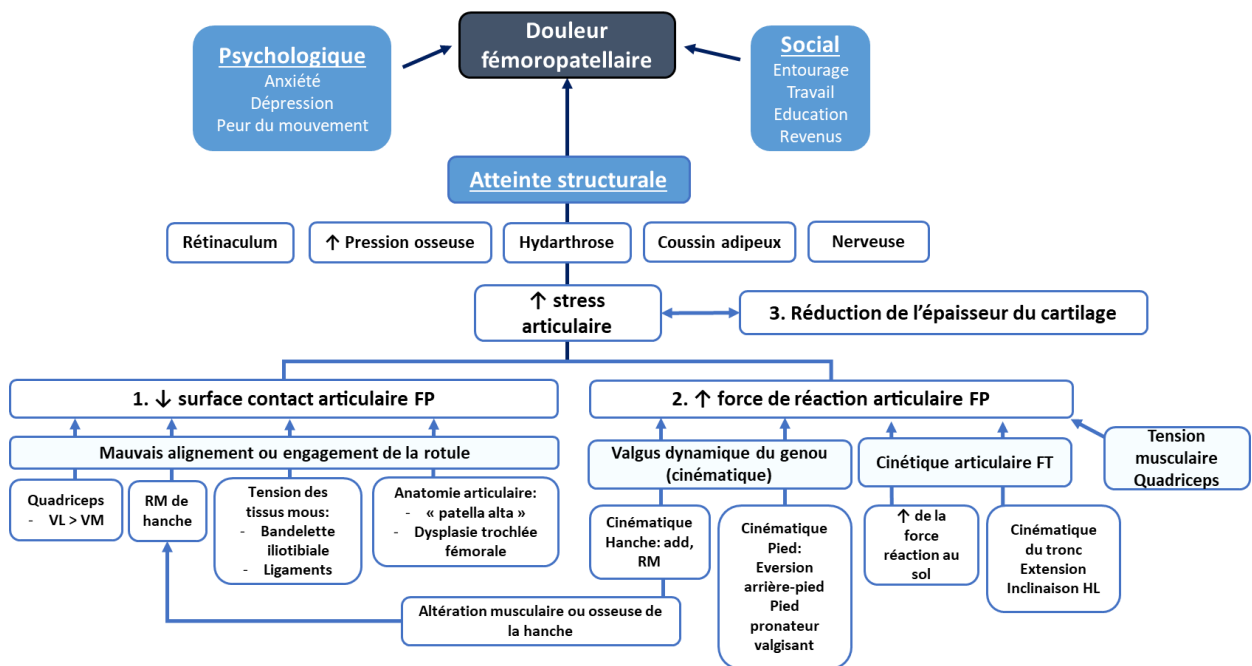


Figure IX: Modèle physiopathologique du SFP (D'après Powers et al., 2017. Traduit et modifié) [18]
RM : Rotation médiale, FT : Fémoro-Tibiale

Biologique, biomécanique et anatomique

Au sein de l'articulation, les structures sont soumises à un stress mécanique important [17]. Comme le montre le modèle ci-dessus, le stress élevé peut résulter **premièrement** d'une diminution de la surface de contact articulaire [18, 20]. **Deuxièmement** d'une augmentation des forces de réaction articulaire FP, notamment du compartiment latéral [18]. Et **troisièmement**, du fait d'un stress sur le cartilage, la réduction de l'épaisseur de ce dernier [22, 49] qui est variable suivant les études [48, 49] contribue au stress selon un cercle vicieux et donc au SFP [11, 18].

Un mauvais alignement ou défaut d'engagement patellaire par un déplacement latéral de la patella (représentée dans la Figure X) lors de l'extension de genou a été observé [31]. Plusieurs facteurs peuvent y contribuer : la faiblesse du quadriceps qui est un facteur prédictif

du SFP [13, 42], une rotation médiale du fémur excessive [18, 111, 112], une hypoextensibilité de la bandelette iliotibiale et du rétinaculum latéral qui est plus serré [38] et épais [37], une laxité ligamentaire médio-latérale de la patella [40] ou encore des défauts dans l'anatomie articulaire (une « patella alta », [34] une dysplasie dans la trochlée fémorale [35, 36]). Les résultats sont contradictoires pour la théorie d'un retard de contraction musculaire du vaste médial par rapport au vaste latéral [46]. Selon une synthèse des données probantes de 2019, l'angle Q ne fait pas parti des facteurs prédictifs du SFP bien qu'il soit beaucoup décrit comme tel dans la littérature [13]. L'angle Q (représenté dans la *Figure XI*) est une mesure statique, remise en cause par des hypothèses dynamiques d'un défaut d'engagement patellaire [23, 40].

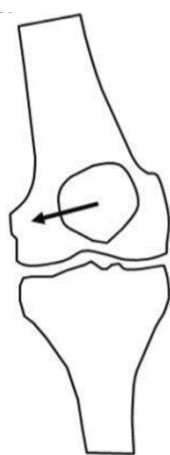


Figure X: Translation latérale de la rotule associée au défaut d'engagement patellaire dans le SFP (D'après Petersen et al., 2017)[23]

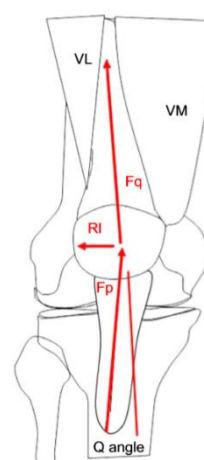


Figure XI: Schéma représentant l'angle Q (D'après Petersen et al., 2017) [23]

Plusieurs altérations de la cinématique fémorotibiale peuvent aussi en être la cause: Une diminution de la flexion de genou lors de sauts, un défaut d'amortissement [42] et la co-contraction musculaire (quadriceps, ischio-jambiers) au niveau du genou [18]. Le valgus dynamique de genou majore la translation latérale de la rotule et est corrélé avec la douleur FP [18, 32]. Seulement 10° de valgus de genou augmente les forces de réaction FP de 45% [112]. La littérature est controversée concernant la contribution de la faiblesse musculaire de la hanche dans l'étiologie du SFP. Certains auteurs montrent une diminution de la force musculaire notamment des abducteurs, rotateurs latéraux et extenseurs de hanche corrélé aux limitations fonctionnelles [44, 112]. Or, le déficit de force dans la hanche serait plutôt une conséquence due à l'inhibition de la douleur qu'une cause de SFP [13]. D'autres indiquent une augmentation de la force du fait d'un contrôle excentrique de la hanche lors du valgus dynamique [13, 42]. Concernant la cheville et le pied qui participent au valgus de genou, les données probantes sont limitées quant à leur rôle dans la survenue du SFP [113].

Une altération de la cinétique articulaire fémorotibiale peut majorer les forces de réaction au sol et les contraintes articulaires FP [18]. Les personnes atteintes du SFP ont des taux de charges verticaux supérieurs lors d'activités comme les escaliers [33], associés à la douleur FP et à des limitations fonctionnelles [114]. Néanmoins, le lien avec les contraintes FP n'est pas démontré [18]. Une posture du tronc trop verticale à la course [45] ou l'inclinaison homolatérale du tronc du fait d'une faiblesse musculaire ou d'un défaut de contrôle moteur [44] sont des facteurs de risque de survenue du syndrome [18]. En effet, la flexion du tronc, entraîne une diminution de l'extension de genou et ainsi une diminution des contraintes FP [45]. L'inclinaison homolatérale du tronc et un déficit de force des muscles stabilisateurs latéraux du tronc favorisent la valgus dynamique de genou et sont corrélés respectivement à l'intensité de la douleur FP et la limitation fonctionnelle [44].

Des hypoextensibilités musculaires du quadriceps, des ischio-jambiers et du triceps sural sont présentes dans cette population [40, 47]. Le rôle des ischio-jambiers comme participant au développement du SFP n'est pas déterminant malgré une longueur plus courte par rapport à des personnes témoins [40, 47]. Cela pourrait donc représenter un facteur de risque supplémentaire. Il semble y avoir une relation entre un triceps sural plus court et le SFP [40, 47]. Dans le cas du quadriceps, la tension contribue au développement du SFP par une force de réaction supérieure sur l'articulation lorsque ce dernier est raccourci [40, 47].

Suite à la construction du modèle de Powers et al. en 2017 [18], Neal et al. ont publié en 2019 une synthèse des données probantes concernant les différents facteurs prédictifs de cette affection [13]. En fin de compte selon des preuves solides à modérées, des variables souvent citées comme l'âge, la taille, le poids, l'indice de masse corporelle, la graisse corporelle et l'angle Q ne font en fait pas parti pas des facteurs de risque [13]. Six des sept études incluant des données sur le sexe ont rapporté une plus grande proportion de femmes que d'hommes affectés, mais le résultat n'était pas statistiquement significatif [13]. Néanmoins, la proportion de femmes atteintes par rapport aux hommes était significativement plus élevée d'après l'analyse réalisée sur la base de données « PearlDiver Patient Record Database » de trente millions de personnes aux États-Unis [12]. De plus, d'après Smith et al. en 2018, les femmes militaires sont deux fois plus susceptibles de développer un SFP que leurs collègues masculins [14]. Les facteurs prédictifs issus de la littérature d'après Neal et al. en 2019 sont : « *la perte de force musculaire (quadriceps et fessiers), l'altération de la cinématique de la hanche et du genou, les niveaux d'activité/charge de travail sportif et les mesures psychosociales* » [13].

Psychologique et Social

La douleur, la cognition et les émotions sont étroitement liées [28]. Des facteurs psychologiques influent donc sur la modulation de la douleur et l'incapacité [28]. La chronicisation de la douleur a été beaucoup étudiée notamment dans le cadre de la lombalgie chronique [50]. Les croyances et attitudes du patient vis-à-vis de la douleur sont non négligeables dans la chronicisation des douleurs lombaires [50]. Ainsi un patient qui cesse toute activité dans une démarche d'évitement de la douleur aura une moins bonne récupération [50]. Moins il est actif, plus il sera douloureux et plus les limitations d'activité et les restrictions de participation sociale seront fortes [50].

Une revue systématique de Maclachlan et al., en Australie en 2017 rend compte de la part de la psychologie dans le SFP [30]. Cette revue ne différenciait pas les résultats selon la durée des symptômes. Des symptômes tels que l'anxiété, la dépression, le catastrophisme (anticipation négative extrême de la douleur qui l'amplifie et la rend menaçante) et la kinésiophobie (peur du mouvement) ont été définis comme corrélés au SFP [30]. La santé mentale et la fonction cognitive sont moins affectées [30]. Cependant, on ne connaît pas la différence de corrélation de ces facteurs en fonction du stade du SFP (aiguë, subaiguë ou chronique). Les facteurs psychologiques doivent donc être pris en considération dans le traitement de cette affection au même titre que dans la lombalgie chronique [28]. Il est donc recommandé aux patients atteints de SFP de poursuivre leurs activités de la vie quotidienne, de rester actif et de reprendre le travail le plus tôt possible [28].

Suite à cette revue, l'équipe australienne a adapté le modèle biopsychosocial au SFP [29]. La participation des aspects psychologiques et sociaux était alors peu développée dans la littérature d'ici là [29]. Or ces derniers permettent d'expliquer certaines caractéristiques du SFP comme sa chronicité, son apparition atraumatique et souvent une mauvaise réponse aux traitements biomécaniques qui sont difficiles à comprendre en ne prenant en compte que l'aspect biologique [29]. J'ai donc ajouté ces dimensions au modèle de Powers et al. dans la *Figure IX* [18].

Facteurs de risque extrinsèques

Des changements récents d'activité ou de sport, de niveau d'activité ou de charge de travail sportif (durée, intensité, fréquence) peuvent être associés à la survenue du SFP du fait d'une surcharge de l'articulation [11]. Des exercices en flexion de genou comme les escaliers, des fentes, ainsi que le port de chaussures inadaptées ou usées mais aussi la technique sportive peuvent y contribuer [11]. Par exemple, les différentes foulées chez le coureur n'ont pas le même impact sur les contraintes FP.

Annexe VI: Le SFP est-il un facteur de risque d'arthrose ?

Le SFP est souvent corrélé avec un risque ultérieur de survenue d'arthrose FP [56, 57]. Néanmoins, cette corrélation reste débattue. Une revue systématique de Thomas et al. de 2010 [56] était constituée de six études prospectives (cinq séries de cas, un essai randomisé contrôlé) et d'une étude cas-témoin rétrospective. Cette revue a permis d'établir des preuves limitées d'un lien entre le SFP et l'arthrose FP. En effet, seule l'étude de cas-témoin rétrospective [115] peut fournir des preuves de ce lien. Les antécédents ont été comparés chez deux groupes de personnes : le premier était constitué de cent-dix-huit personnes ayant eu une arthroplastie FP du fait d'arthrose FP et le deuxième de cent-seize personnes suite à une arthroplastie fémorotibiale unicompartmentale [115]. Le groupe d'arthrose FP a déclaré un nombre d'antécédents de douleurs antérieures au genou (22% contre 6%), d'instabilités (14% contre 1%) et de traumatismes (16% contre 6%) patellaires supérieurs au deuxième groupe [115]. Il est difficile d'interpréter les autres études du fait de biais importants. La relation causale n'est donc pas solidement établie [56].

Cependant, Collins et al en 2019 ont montré un nombre supérieur de caractéristiques d'arthrose FP grâce à la radiographie et à l'IRM chez les personnes atteintes d'un SFP comparativement à des témoins asymptomatiques [58]. Des changements structuraux chez les personnes atteintes d'un SFP peuvent alors favoriser la survenue future d'arthrose [58].

Annexe VII: L'importance des facteurs psychosociaux dans la course à pied

La façon de courir d'une personne est propre à ses habitudes en fonction de son apprentissage par imitation et de son éducation [116]. Le patron de course est ensuite modulé par la société, les convenances, les modes, et les prestiges [116]. On parle alors d'idiosyncrasie de la course au même titre que la marche [116]. Il s'agit de la capacité d'une personne à adopter un schéma de course personnel résultat de l'exposition aux agents extérieurs.

L'anthropologue Marcel Mauss avait déjà développé l'aspect social de la course en 1934 [116]. La façon de courir peut varier en fonction de ses connaissances et de ses croyances afin d'éviter des blessures, de réaliser une performance, ou dans un but esthétique. Le coureur peut vouloir adopter une foulée « avant-pied » pour ressembler à certains marathoniens par exemple. Il peut aussi refuser des chaussures minimalistes pour une raison esthétique.

Le traitement par le changement de foulée doit être basé sur le modèle de l'EBP (Evidence Based Practice) défini par Sackett et al en 1996 [65]. Les données de la littérature, l'expérience du praticien, mais aussi les attentes et valeurs du patient doivent être prises en compte. Les dimensions psychologiques et sociales de la rééducation du patron de course ne doivent ainsi pas être négligées.

Annexe VIII: Impact de la foulée minimaliste sur les contraintes FP et les forces d'impact verticales

Auteur, année	Type d'étude	Population	Intervention	Comparaison	Outcome	Résultat
<u>Attaque avant-pied</u>						
Kulmala 2013	Cas-contrôle	38 athlètes féminines (19 avec foulée avant-pied et 19 avec foulée arrière-pied) Âge moyen : 23 ans	Course sans rétroaction selon leur foulée à une vitesse de 4 m/s sur une piste de 15m	Entre les 2 groupes : foulée arrière / avant-pied	Force de contact et de pression sur l'articulation FP Pic d'impact vertical Taux de charge moyen	Diminution de la FCF (BW) de 15,70%* et de la FPF (Mpa) de 14,61%* avec une foulée avant-pied par rapport à une foulée arrière-pied. La force de réaction verticale au sol a montré un pic d'impact inférieur de 26 %* et un taux de charge moyen inférieur de 47 %* avec la foulée avant-pied.
Cheung 2011	Étude de cas prospective longitudinale	3 coureuses ayant une foulée arrière-pied souffrant de douleurs FP unilatérales Âge moyen : 29 ans	8 séances (4/sem), 2 sem pour passer à une foulée « avant-pied » sur tapis roulant	Avant / après intervention / après 3 mois	Pic d'impact vertical Taux de charge moyen Taux de charge instantané	Diminution du pic d'impact vertical de 15,29% et des taux de charge moyens de 23,27% et instantanés de 23,68%.
Vannatta 2015	Série de cas transversale	16 coureuses (18-35 ans) en bonne santé Âge moyen : 22,8 ans	20 séances sur tapis de course pour passer à une attaque « avant-pied »	Avant / après intervention	Force de pression sur l'articulation FP Force de réaction au sol	Diminution de la FPF (Mpa) de 21,38%* avec une foulée avant-pied par rapport à une foulée arrière-pied. La force de réaction verticale maximale au sol a légèrement augmenté 6,8%* .
<u>Attaque avant-pied et augmentation de la cadence</u>						
Esculier 2017	ECR	69 coureurs récréatifs (43 femmes, 26 hommes) souffrant de douleurs FP Age : entre 18 et 45 ans	Modification du patron de course + éducation : augmentation de la cadence entre 7,5-10% +/- attaque avant pied selon le choix du thérapeute	Education seule Education + renforcement musculaire	Force de contact sur l'articulation FP Taux de charge moyen de l'articulation FP Taux de charge vertical moyen	Diminution de la FCF (BW) de 12,3% (p=0,124), Diminution du taux de charge moyen de la FPF de 12,5% (p=0,127) Diminution du taux de charge vertical moyen de 25,5%*
<u>Augmentation de la cadence</u>						
Lenhart 2014	Série de cas transversale	30 adultes coureurs récréatifs en bonne santé (15 hommes, 15 femmes) Âge moyen : 33 ans	Course sur tapis roulant à 3 cadences : 90%, 100% et 110% de la fréquence de pas préférée	Comparaison des 3 cadences	Force de réaction FP maximale Taux de charge FP	Augmenter la fréquence de pas 110% du préféré réduit de 14% la force de réaction FP max et de 11% le taux de charge FP en phase d'appui.

Course pied nu ou chaussures minimalistes

Bonacci 2014	Série de cas transversale	20 coureurs de haut niveau (14 hommes et 8 femmes) Âge moyen : 29,2 ans	Course pieds nus 20 séances sur une piste de 20m	Course avec des chaussures neutres (groupe témoin)	Force de contact et de pression sur l'articulation FP	La course pieds nus a réduit de 11,65 %* la FCF (BW) et la FPF (Mpa)
Sinclair 2014	Série de cas transversale	30 hommes coureurs récréatifs Âge moyen : 26,21 ans	10 séances (3 fois/semaine) de course à pied à 4 m/s avec différents types de chaussures ou pieds nus.	Comparaison en fonction des différentes chaussures et pied nu	Force de contact et de pression sur l'articulation FP	Diminution de la FCF (BW) de 22,38% * et de la FPF (Mpa) de 10,12%* pied nu comparativement aux chaussures conventionnelles
Sinclair 2016	Série de cas transversale	20 hommes coureurs récréatifs Âge moyen : 24,24 ans	5 séances de course à pied à 4 m/s avec différents types de chaussures ou pieds nus.	Entre chaussures minimalistes, conventionnelles ou maximalistes	Force de contact et de pression sur l'articulation FP	Diminution de la FCF (BW) de 17,66%* et de la FPF (Mpa) de 13,11%* entre les chaussures conventionnelles et minimalistes. Diminution de la FCF (BW) de 18,35%* et de la FPF (Mpa) de 14,72%* entre les chaussures maximalistes et minimalistes.

Tableau XIII: Extraction des données et des caractéristiques des études sur l'impact de la foulée minimaliste sur les contraintes FP ainsi que les forces d'impact verticales au sol

(FCF : Force de contact fémoropatellaire ; FPF : force de pression fémoropatellaire ; BW : Body Weight (poids corporel effectif))

Annexe IX: L'éducation du patient atteint d'un SFP

Informé le patient le rend acteur de son traitement, lui permet de gérer au mieux ses douleurs et favorise l'auto-rééducation.

La compréhension de sa douleur, et de sa prise en charge

Au vu des données épidémiologiques, le SFP touche majoritairement les adolescents et les jeunes adultes. Or, d'après une étude de Rathleff et al., l'adhérence des adolescents ayant des douleurs FP au traitement est mauvaise [117]. Il apparaît alors essentiel d'expliquer au patient l'importance de l'observance du traitement pour une meilleure récupération, en particulier dans cette population. L'éducation commence par une explication des causes possibles de la douleur FP, l'évolution probable et le traitement envisagé [118]. Vingt et un experts se sont réunis afin de construire un dépliant éducatif qui s'appuie au maximum sur les données probantes actuelles [118]. Le dépliant dans la *Figure XII* a pour but de faciliter l'éducation des patients atteints d'un SFP [118].

L'éducation à la douleur

Ensuite, il faut dédramatiser cette douleur sans à l'inverse la déconsidérer [81]. La prise en compte des facteurs psychosociaux doit faire partie intégrante de l'éducation du patient du fait de sa contribution dans le développement de la douleur FP [7, 29, 30]. Aussi sous le terme de drapeaux jaunes ils participent au processus de chronicisation des douleurs [79]. Les thérapeutes doivent tenter de lutter contre les croyances erronées (par exemple : arrêter toute activité le temps des douleurs) ainsi que répondre aux craintes et à l'anxiété du patient [30, 79]. Un arrêt total des activités participe au développement de la peur du mouvement et au catastrophisme de la douleur [30]. Un repos relatif est bénéfique pour diminuer la douleur [28]. Il ne faut pas non plus que le patient cesse toute activité, car cela risquerait d'augmenter ses incapacités [28]. Il faut donc adopter une approche individuelle adaptée aux attentes et aux valeurs de chaque patient.

L'éducation du coureur à la charge

L'approche n'est pas seulement individuelle, mais aussi commune concernant la gestion de la charge imposée à l'articulation FP. En effet, un trop grand stress imposé à l'articulation est un facteur de risque important de SFP [18]. La quantification du stress mécanique est une notion développée en *Annexe III* d'après La Clinique Du Coureur™ [80]. Elle a une visée préventive, mais aussi curative. Il faut trouver un intermédiaire entre un stress mécanique excessif et une

absence de contraintes [80]. L'éducation doit donc jouer sur la gestion de la charge lors de la course ou lors des exercices de renforcement. Le programme d'éducation d'Esculier et al., chercheurs de la Clinique Du Coureur™ est présenté dans la *Figure XIII* [74]. Le patient est autonome dans la gestion de son entraînement et l'adapte en fonction des symptômes perçus [74].

L'éducation du coureur à la foulée minimaliste

Différentes stratégies facilitent la transition vers une foulée minimaliste. Les apprendre au patient permettrait de voir avec lui lesquelles lui correspondraient le plus en fonction de ses attentes, ses préférences, ses objectifs, ses capacités physiques, et ses comorbidités. Prendre en compte les caractéristiques physiques et psychosociales des patients permettrait un changement de foulée individualisé à chacun.

KEY FACTORS AND TREATMENT OPTIONS

(See inside for greater details)

KEY BIOMECHANICAL FACTORS TO ADDRESS

1. Poor function and weakness of hip muscles
2. Poor function and weakness of thigh muscles
3. Too much foot roll (pronation)



KEY TREATMENT OPTIONS

1. Exercises to improve strength and function of the hip and thigh muscles
2. Taping of the knee cap to reduce pain in the short term
3. Foot orthotics if you have too much foot roll (pronation)

PRIORITIES TO MANAGE YOUR PATELLOFEMORAL PAIN

1. If you think you have patellofemoral pain, you should seek help as early as possible – this will improve your chances of a successful recovery.
2. There are many effective treatment options which you should discuss with your treating therapist.
3. Your recovery will be best if you actively participate in your rehabilitation.
4. Appropriately modifying your physical activity level is often the first step towards successful recovery.
5. Ensure you slowly and safely build up your physical activity levels (Figure 5).



Figure 5 Gradual and safe build up in physical activity levels

This information brochure has been created as part of a not for profit endeavour by Dr Christian Barton and Michael Rathleff.

WHAT MIGHT CAUSE MY KNEE PAIN?

Excessive loading or varied and rapid increases to physical activity which your knee cannot cope with (Figure 1) are thought to contribute to pain development. Poor biomechanics (movement) can also contribute, with the knee cap thought to move toward the outside of the knee (Figure 2), stopping it from tracking normally in its groove. A number of factors can lead to this poor tracking (Figure 3). There are numerous other contributing factors to patellofemoral pain including the structure of your knee, trauma, surgery and systemic disease, which you may wish to speak to your therapist about.

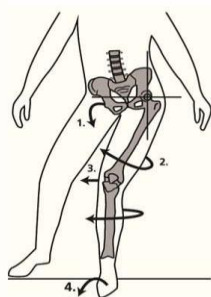


Figure 3 Movement factors contributing to abnormal tracking of the knee cap.



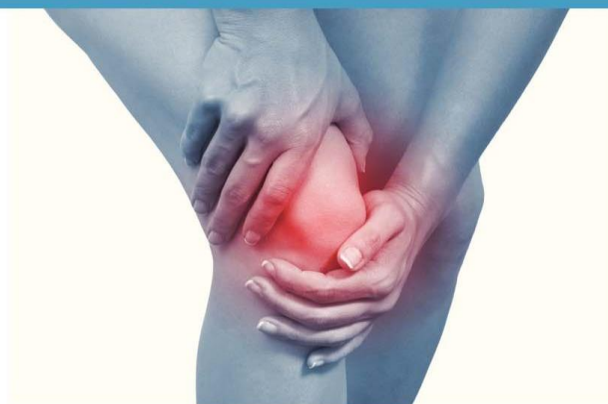
Figure 1 Varied and rapid increases to physical activity levels which can lead to patellofemoral pain



Figure 2 Illustrates abnormal tracking of the knee cap

1. Pelvis drops on opposite side, placing increased tension on the outside of the leg and pulling the knee cap outward.
2. Hip collapses inward and rolls under the knee cap due to poor function and weakness of the hip muscles.
3. Thigh muscles are weak or function poorly, meaning there is inadequate support for the knee and knee cap.
4. Foot rolls in too much, causing the shin and knee to collapse inward under the knee cap.

MANAGING MY PATELLOFEMORAL PAIN



Patellofemoral pain (pain around, behind or under the knee cap) is very common, and affects both males and females of all activity levels. It often results in pain during simple daily activities such as walking, running, sitting, squatting and walking up and down stairs.

Patellofemoral pain has many causes, and as such there are a lot of treatment options available. The information contained within this leaflet will help guide you on the most appropriate treatment for your knee pain. It is recommended you see an appropriately qualified health care professional to guide your treatment further.

TREATMENT OPTIONS

(Good quality exercise rehabilitation is the key)

Exercise Additional treatments

WHAT EXERCISE PRINCIPLES ARE IMPORTANT?

1. Your therapist may suggest a period of rest before starting exercise again.
2. Exercises in sitting or lying at the beginning may help to get your hip and thigh muscles functioning without pain.
3. As soon as pain allows, exercises should be performed in standing postures which mimic everyday activities.
4. Your therapist should supervise you with any new exercises to ensure correct techniques.
5. Using mirrors and video recordings may help you to complete correct exercise techniques at home.
6. Exercises will not help unless you perform them with the correct technique and on a regular basis.

WHAT EXERCISES SHOULD I BE COMPLETING?

1. Weakness and poor function of the hip and thigh is common, so you will most likely need exercises to improve this.
2. Sometimes exercises for the foot or back are also required.
3. You may need to stretch your calf, hamstring or thighs.
4. Exercises should be progressed to activities you previously had pain with (squatting, stairs, running, etc.), ensuring good movement patterns during their completion. (Figure 4 - example)

PAIN REDUCTION

1. Taping or strapping can relieve pain in the short term – your therapist can apply this or teach you how to do this.
2. Braces can also help relieve pain.
3. Foot orthotics sometimes reduce pain - your therapist will help you decide if they are appropriate, or refer you to someone who can.



4a. Poor control of hip and pelvis. 4b. Improved control of hip and pelvis. Figure 4 Walking down stairs

HOW ELSE CAN MY THERAPIST HELP?

1. Guide you on your most appropriate exercises and other helpful treatments.
2. Answer questions related to your knee pain, and explain in greater detail the contents of this information leaflet where necessary.
3. Help you understand why you have knee pain, what factors have most likely caused your pain and how to modify your activity to improve your pain and recovery.
4. Provide manual therapy which may be important to improve pain and flexibility.

Figure XII: Dépliant éducatif pour les patients atteints de SFP : causes de la douleur et traitements (D'après Barton et al., 2016) [118]

Education des coureurs sur la gestion de la charge / quantification du stress mécanique:

Ils modifient eux-mêmes leur entraînement en fonction de leurs symptômes

En cas de douleur:

- Augmenter la fréquence de leurs entraînements hebdomadaires
- Diminuer la durée de chaque séance
- Diminuer la vitesse de course
- Eviter les descentes et les escaliers
- Des intervalles de marche à pied sont autorisés

La douleur doit:

- Etre inférieure à 2/10 pendant la course
- Revenir à son niveau d'avant l'entraînement dans les 60 minutes suivant l'entraînement
- Ne pas augmenter le lendemain matin

Des programmes hebdomadaires individualisés, modifiables par les coureurs en fonction des symptômes, doivent être conçus par les kinésithérapeutes et progresser en fonction de l'évolution des symptômes.

Progressivement:

- Augmenter la distance de course en fonction des symptômes
- Puis, ajouter la vitesse et les dénivelés

Figure XIII: Programme d'éducation à la gestion de la charge lors de la course à pied chez le patient atteint de douleurs FP (D'après Esculier et al., 2018) [74]

Annexe X: Lignes directrices PRISMA renseignées (Moher et al., 2009)

Section / sujet	N°	Critères de contrôle	Page N°
TITRE			
Titre	1	Identifier le rapport comme une revue systématique, une méta-analyse, ou les deux.	Page de garde
RESUME			
Résumé structuré	2	Fournir un résumé structuré incluant, si applicable : contexte ; objectifs ; sources des données ; critères d'éligibilité des études, populations, et interventions ; évaluation des études et méthodes de synthèse ; résultats ; limites ; conclusions et impacts des principaux résultats ; numéro d'enregistrement de la revue systématique.	Page suivante
INTRODUCTION			
Contexte	3	Justifier la pertinence de la revue par rapport à l'état actuel des connaissances.	13-14
Objectifs	4	Déclarer explicitement les questions traitées en se référant aux participants, interventions, comparaisons, résultats, et à la conception de l'étude (PICOS).	14
METHODE			
Protocole et enregistrement	5	Indiquer si un protocole de revue de la littérature existe, s'il peut être consulté et où (par exemple, l'adresse web), et, le cas échéant, fournir des informations d'identification, y compris le numéro d'enregistrement.	15
Critères d'éligibilité	6	Spécifier les caractéristiques de l'étude (par exemple, PICOS, durée de suivi) et les caractéristiques du rapport (par exemple, années considérées, langues, statuts de publication) utilisées comme critères d'éligibilité, et justifier ce choix	15-16
Sources d'information	7	Décrire toutes les sources d'information (par exemple : bases de données avec la période couverte, échange avec les auteurs pour identifier des études complémentaires) de recherche et la date de la dernière recherche	16
Recherche	8	Présenter la stratégie complète de recherche automatisée d'au moins une base de données, y compris les limites décidées, de sorte qu'elle puisse être reproduite.	16-17
Sélection des études	9	Indiquer le processus de sélection des études (c.-à-d. : triage, éligibilité, inclusion dans la revue systématique, et, le cas échéant, inclusion dans la méta-analyse).	17
Extraction des données	10	Décrire la méthode d'extraction de données contenues dans les rapports (par exemple : formulaires pré-établis, librement, en double lecture) et tous les processus d'obtention et de vérification des données auprès des investigateurs	18
Données	11	Lister et définir toutes les variables pour lesquelles des données ont été recherchées (par exemple : PICOS, sources de financement) et les suppositions et simplifications réalisées.	18
Risque de biais inhérent à chacune des études	12	Décrire les méthodes utilisées pour évaluer le risque de biais de chaque étude (en spécifiant si celui-ci se situe au niveau de l'étude ou du résultat), et comment cette information est utilisée dans la synthèse des données.	18
Quantification des résultats	13	Indiquer les paramètres de quantification des résultats (par exemple : risk ratio, différence entre les moyennes).	19
Synthèse des résultats	14	Décrire les méthodes de traitement des données et de combinaison des résultats des études, si effectué, y compris les tests d'hétérogénéité (par exemple : I^2) pour chaque méta-analyse.	19
Risque de biais transversal aux études	15	Spécifier toute quantification du risque de biais pouvant altérer le niveau de preuve global (par exemple : biais de publication, rapport sélectif au sein des études).	-
Analyses complémentaires	16	Décrire les méthodes des analyses complémentaires (par exemple : analyses de sensibilité ou en sous-groupes, méta-régression), si effectuées, en indiquant celles qui étaient prévues a priori.	-

RESULTATS			
Sélection des études	17	Indiquer le nombre d'études triées, examinées en vue de l'éligibilité, et incluses dans la revue, avec les raisons d'exclusion à chaque étape, de préférence sous forme d'un diagramme de flux.	20
Caractéristiques des études sélectionnées	18	Pour chaque étude, présenter les caractéristiques pour lesquelles des données ont été extraites (par exemple : taille de l'étude, PICOS, période de suivi) et fournir les références.	20-24
Risque de biais relatif aux études	19	Présenter les éléments sur le risque de biais de chaque étude et, si possible, toute évaluation des conséquences sur les résultats (voir item 12).	25
Résultats de chaque étude	20	Pour tous les résultats considérés (positifs ou négatifs), présenter, pour chaque étude : (a) une brève synthèse des données pour chaque groupe d'intervention ; (b) les ampleurs d'effets estimés et leurs intervalles de confiance, idéalement avec un graphique en forêt (forest plot).	26-33
Synthèse des résultats	21	Présenter les principaux résultats de chaque méta-analyse réalisée, incluant les intervalles de confiance et les tests d'hétérogénéité.	-
Risque de biais transversal aux études	22	Présenter les résultats de l'évaluation du risque de biais transversal aux études (voir item 15).	-
Analyse complémentaire	23	Le cas échéant, donner les résultats des analyses complémentaires (par exemple : analyses de sensibilité ou en sous-groupes, méta-régression [voir item 16]).	-
DISCUSSION			
Synthèse des niveaux de preuve	24	Résumer les principaux résultats, ainsi que leur niveau de preuve pour chacun des principaux critères de résultat ; examiner leur pertinence selon les publics concernés (par exemple : établissements ou professionnels de santé, usagers et décideurs).	34-44
Limites	25	Discuter des limites au niveau des études et de leurs résultats (par exemple : risque de biais), ainsi qu'au niveau de la revue (par exemple : récupération incomplète de travaux identifiés, biais de notification).	44-47
Conclusions	26	Fournir une interprétation générale des résultats dans le contexte des autres connaissances établies, et les impacts pour de futures études	48
FINANCEMENT			
Financement	27	Indiquer les sources de financement de la revue systématique et toute autre forme d'aide (par exemple : fourniture de données) ; rôle des financeurs pour la revue systématique	48

Annexe XI: Niveaux de preuves d'après le NHMRC (version française 2009)

La grille du National Health and Medical Research Council (NHMRC) de 2009 a permis de mesurer le niveau de preuve des études incluses dans la revue systématique.

Niveau	Domaine				
	Intervention	Diagnostic*	Pronostic	Étiologie	Intervention de dépistage
I	Une revue systématique d'études de niveau II.	Une revue systématique d'études de niveau II.	Une revue systématique d'études de niveau II.	Une revue systématique d'études de niveau II.	Une revue systématique d'études de niveau II.
II†	Un essai contrôlé randomisé.	Une étude portant sur la validité diagnostique avec : une comparaison indépendante, en insu, avec un examen de référence standard‡ fiable, parmi des personnes consécutives ayant un tableau clinique défini.	Une étude de cohorte prospective.	Une étude de cohorte prospective.	Un essai contrôlé randomisé.
III-1	Un essai contrôlé pseudo-randomisé (allocation alternée ou autre méthode).	Une étude portant sur la validité diagnostique avec : une comparaison indépendante, en insu, avec un examen de référence standard fiable, parmi des personnes non consécutives ayant un tableau clinique défini.	Tous ou aucun des sujets ayant le facteur de risque présentent la maladie.	Tous ou aucun des sujets ayant le facteur de risque présentent la maladie.	Un essai contrôlé pseudo-randomisé (allocation alternée ou autre méthode).
III-2	Une étude comparative avec des témoins concomitants : - essai contrôlé expérimental non randomisé ; - étude de cohorte ; - étude cas-témoins ; - série temporelle interrompue avec un groupe témoins.	Une comparaison avec un examen de référence standard qui ne remplit pas les critères requis pour les niveaux II et III-1.	Analyse des facteurs pronostiques parmi les sujets d'un seul bras d'un essai contrôlé randomisé.	Une étude de cohorte rétrospective.	Une étude comparative avec des témoins concomitants : - essai contrôlé expérimental non randomisé ; - étude de cohorte ; - étude cas-témoins.
III-3	Une étude comparative sans témoins concomitants :	Étude cas-témoins portant sur la validité diagnostique d'un test.	Une étude de cohorte rétrospective.	Une étude cas-témoins.	Une étude comparative sans témoins concomitants :

	Domaine				
	- étude contrôle historique ; - étude à deux bras ou plus ; - série temporelle interrompue sans groupe témoins parallèle.				- étude contrôle historique ; - étude à deux bras ou plus.
IV	Série de cas avec des résultats soit post-test soit pré-test/post-test.	Étude du rendement diagnostique (sans examen de référence) .	Série de cas, ou étude de cohorte de personnes à différentes phases de la maladie.	Une étude transversale ou série de cas.	Série de cas.

* : ces niveaux s'appliquent uniquement aux études portant sur la validité diagnostique du test. Pour évaluer l'efficacité d'un test diagnostique en population, il est nécessaire de prendre en considération l'impact du test sur la prise en charge du patient et les résultats cliniques.

† : une revue systématique aura le niveau de preuve des études qu'elle contient, excepté celles incluant des études de niveau II. Une revue systématique doit inclure au minimum 2 études.

‡ : la validité de l'examen de référence standard doit être déterminée dans le contexte de la maladie considérée. Les critères pour déterminer la validité de l'examen de référence doivent être pré-spécifiés.

|| : des études sur le rendement diagnostique fournissent la proportion de patients diagnostiqués sans confirmation de la valeur de ce diagnostic par un examen de référence standard.

Annexe XII: Qualité des études selon l'Echelle Downs and Blacks 1998 (Traduite, modifiée et renseignée) :

Auteurs et année			Roper 2016	Cheung 2011	Neal 2018	Bramah 2019	Dos Santos 2019	Esculier 2017	Bonacci 2017
Type d'étude			ECR	Série de cas prospective longitudinale	Série de cas prospective longitudinale	Série de cas prospective longitudinale	ECR	ECR	ECR
Qualité de l'étude	Q1	L'hypothèse / le but / l'objectif de l'étude est-il clairement décrit ? (0/1)	1	1	1	1	1	1	1
	Q2	Les principaux résultats à mesurer sont-ils clairement décrits dans la section Introduction ou Méthodes ? <i>Si les principaux résultats sont mentionnés pour la première fois dans la section Résultats, il convient de répondre non à la question.</i> (0/1)	1	1	1	1	1	1	1
	Q3	Les caractéristiques des patients inclus dans l'étude sont-elles clairement décrites ? <i>Dans les études de cohorte et les essais, les critères d'inclusion et/ou d'exclusion doivent être indiqués. Dans les études cas-témoins, une définition des cas et la source des témoins doivent être indiquées</i> (0/1)	1	1	1	1	1	1	1
	Q4	Les interventions sont-elles clairement décrites ? <i>Les traitements et le placebo (le cas échéant) qui doivent être comparés doivent être clairement décrits.</i> (0/1)	1	1	1	1	1	1	1
	Q5	Les distributions des principaux facteurs de confusion dans chaque groupe de sujets à comparer sont-elles clairement décrites ? <i>Une liste des principaux facteurs de confusion est fournie</i> (0/1/2)	2	0	0	0	1	2	2
	Q6	Les principales conclusions de l'étude sont-elles clairement décrites ? <i>Des données simples sur les résultats (y compris les dénominateurs et les numérateurs) doivent être indiquées pour tous les principaux résultats afin que le lecteur puisse vérifier les principales analyses et conclusions. (Cette question ne couvre pas les tests statistiques qui sont examinés ci-dessous).</i> (0/1)	1	1	1	1	1	1	1
	Q7	L'étude fournit-elle des estimations de la variabilité aléatoire des données pour les principaux résultats ? <i>Pour les données non normalement distribuées, il convient de signaler la fourchette interquartile des résultats. Dans le cas de données normalement distribuées, l'erreur type, l'écart-type ou les intervalles de confiance doivent être indiqués. Si la distribution des</i>	1	1	1	1	1	1	1

		<i>données n'est pas décrite, il faut supposer que les estimations utilisées étaient appropriées et répondre par l'affirmative à la question. (0/1)</i>							
	Q8	Tous les événements indésirables importants qui peuvent être une conséquence de l'intervention ont-ils été signalés ? Il convient de répondre par l'affirmative si l'étude démontre qu'il y a eu une tentative complète de mesurer les événements indésirables. (Une liste des événements indésirables possibles est fournie). (0/1)	1	0	0	1	0	1	1
	Q9	Les caractéristiques des patients perdus de vue ont-elles été décrites ? Il convient de répondre par l'affirmative lorsqu'il n'y a pas eu de perte de suivi ou lorsque les pertes de suivi étaient si faibles que les résultats ne seraient pas affectés par leur inclusion. Il convient de répondre non lorsqu'une étude ne mentionne pas le nombre de patients perdus de vue. (0/1)	1	1	0	1	1	1	1
	Q10	Des valeurs de probabilité réelles ont-elles été indiquées (par exemple, 0,035 au lieu de <0,05) pour les principaux résultats, sauf lorsque la valeur de probabilité est inférieure à 0,001 ? (0/1)	1	0	0	1	1	1	1
Validité externe	Q11	Les sujets invités à participer à l'étude étaient-ils représentatifs de l'ensemble de la population dans laquelle ils ont été recrutés ? L'étude doit identifier la population d'origine des patients et décrire comment les patients ont été sélectionnés. Les patients seraient représentatifs s'ils comprenaient l'ensemble la population de départ, un échantillon non sélectionné de patients, ou un échantillon aléatoire. L'échantillonnage aléatoire n'est possible que lorsqu'il existe une liste de tous les membres de la population concernée. Lorsqu'une étude n'indique pas la population d'origine dont les patients sont issus, la question doit recevoir une réponse indiquant qu'il est impossible à déterminer. (1/0/U)	U	1	U	0	1	1	1
	Q12	Les sujets qui étaient prêts à participer étaient-ils représentatifs de l'ensemble de la population dans laquelle ils ont été recrutés ? La proportion des personnes interrogées qui ont accepté devrait être précisée. Pour valider la représentativité de l'échantillon, il faudrait notamment démontrer que la distribution des principaux facteurs de confusion était la même dans l'échantillon de l'étude et dans la population initiale. (1/0/U)	U	0	U	1	1	1	1
	Q13	Le personnel, les lieux et les installations où les patients ont été traités étaient-ils représentatifs du traitement que	1	1	1	1	1	1	1

la majorité des patients reçoivent ? *Pour qu'il soit possible de répondre par l'affirmative à cette question, l'étude doit démontrer que l'intervention était représentative de celle utilisée dans la population initiale. Il convient de répondre non à la question si, par exemple, l'intervention a été entreprise dans un centre spécialisé non représentatif des hôpitaux fréquentés par la majorité de la population source.* (1/0/U)

Validité interne - Biais de l'étude	Q14	A-t-on tenté de rendre les sujets de l'étude aveugles à l'intervention dont ils ont bénéficié ? <i>Pour les études où les patients n'auraient aucun moyen de savoir quelle intervention ils ont reçu, il faut répondre par l'affirmative.</i> (1/0/U)	0	0	0	0	0	0	0
	Q15	A-t-on tenté de mettre en aveugle ceux qui mesurent les principaux résultats de l'intervention ? (1/0/U)	0	0	0	0	0	1	1
	Q16	Si certains des résultats de l'étude étaient basés sur le "prélèvement de données", cela a-t-il été précisé ? <i>Toute analyse qui n'avait pas été prévue au début de l'étude devrait être clairement indiquée. Si aucune analyse rétrospective de sous-groupe non planifiée n'a été signalée, alors répondez par l'affirmative.</i> (1/0/U)	1	1	1	1	1	1	1
	Q17	Dans les essais et les études de cohorte, les analyses tiennent-elles compte des différentes durées de suivi des patients ou, dans les études cas-témoins, le délai entre l'intervention et le résultat est-il le même pour les cas et les témoins ? <i>Lorsque le suivi était le même pour tous les patients de l'étude, la réponse devrait être oui. Si différentes durées de suivi ont été ajustées, par exemple par une analyse de survie, la réponse doit être oui. Les études dans lesquelles les différences de suivi sont ignorées doivent recevoir une réponse négative.</i> (1/0/U)	1	1	1	1	1	1	1
	Q18	Les tests statistiques utilisés pour évaluer les principaux résultats sont-ils appropriés ? <i>Les techniques statistiques utilisées doivent être adaptées aux données. Par exemple, des méthodes non paramétriques doivent être utilisées pour les échantillons de petite taille. Lorsqu'une petite analyse statistique a été entreprise, mais où il n'y a aucune preuve de biais, la question devrait recevoir une réponse positive. Si la distribution des données (normale ou non) n'est pas décrite il faut supposer que les estimations utilisées étaient appropriées et la question devrait être répondu par l'affirmative.</i> (1/0/U)	1	1	1	1	1	1	1
	Q19	Le respect de la/des intervention(s) était-il fiable ? <i>En cas de non-respect du traitement alloué ou de contamination</i>	1	1	1	1	1	1	1

		<i>d'un groupe, il convient de répondre non à la question. Pour les études où l'effet de toute erreur de classification était susceptible de biaiser toute association à la nullité, il convient de répondre à la question par oui. (1/0/U)</i>							
	Q20	Les principales mesures de résultats utilisées étaient-elles exactes (valides et fiables) ? Pour les études dans lesquelles les mesures de résultats sont clairement décrites, il convient de répondre par l'affirmative à la question. Pour les études qui se réfèrent à d'autres travaux ou qui démontrent que les mesures des résultats sont exactes, il faut répondre à la question par oui. (1/0/U)	1	1	1	1	1	1	1
Validité interne - Biais et confusion de sélection	Q21	Les patients de différents groupes d'intervention (essais et études de cohorte) ou les cas et les témoins (études cas-témoins) ont-ils été recrutés dans la même population ? Par exemple, les patients de tous les groupes de comparaison doivent être sélectionnés dans le même hôpital. Il faut répondre à la question sans pouvoir déterminer pour les études de cohortes et les études cas-témoins s'il n'y a pas d'informations concernant la source des patients inclus dans l'étude. (1/0/U)	U	1	0	1	0	0	0
	Q22	Les sujets de l'étude de groupes d'intervention différents (essais et études de cohorte) ou les cas et les témoins (études cas-témoins) ont-ils été recrutés sur la même période ? Pour une étude qui ne précise pas la période pendant laquelle les patients ont été recrutés, il convient de répondre à la question comme ne permettant pas de déterminer (1/0/U)	1	1	U	1	U	1	1
	Q23	Les sujets de l'étude ont-ils été répartis au hasard dans des groupes d'intervention ? Il convient de répondre par l'affirmative aux études dans lesquelles les sujets ont été randomisés, sauf si la méthode de randomisation ne permet pas d'assurer une répartition aléatoire. Par exemple, une autre méthode d'attribution aurait un score de non parce qu'elle est prévisible. (1/0/U)	1	0	0	0	1	1	1
	Q24	La répartition aléatoire des interventions a-t-elle été cachée aux patients et au personnel de santé jusqu'à ce que le recrutement soit complet et irrévocable ? Toutes les études non randomisées doivent recevoir une réponse négative. Si l'affectation a été cachée aux patients, mais pas au personnel, il faut répondre non. (1/0/U)	1	0	0	0	1	1	1
	Q25	Les analyses dont ont été tirées les principales conclusions ont-elles été suffisamment ajustées pour éviter les confusions ? Il convient de répondre non à cette question pour les essais si : les principales	1	0	0	0	0	1	1

conclusions de l'étude étaient fondées sur des analyses du traitement plutôt que sur l'intention de traiter ; la répartition des facteurs de confusion connus dans les différents groupes de traitement n'était pas décrite ; ou la répartition des facteurs de confusion connus différait entre les groupes de traitement, mais n'était pas prise en compte dans les analyses. Dans les études non randomisées, si l'effet des principaux facteurs de confusion n'a pas été étudié ou si la confusion a été démontrée, mais qu'aucun ajustement n'a été fait dans les analyses finales, le Il faut répondre à la question par un non. (1/0/U)

Q26	Les pertes de patients à suivre ont-elles été prises en compte ? Si le nombre de patients perdus de vue n'est pas indiqué, il faut répondre à la question comme étant impossible à déterminer. Si la proportion de patients perdus de vue était trop faible pour affecter les principaux résultats, la question devrait recevoir une réponse positive. (1/0/U)	1	1	1	1	1	1	1
-----	--	---	---	---	---	---	---	---

Puissance	Q27	Une analyse de puissance a-t-elle été faite ? (1/0/U)	1	0	1	1	1	1	1
Total (/28)			23	17	14	20	21	26	26

(0/1/2/U) = (0/1/2 points / impossible de déterminer), Item 27 modifié

Annexe XIII: Évaluation de la qualité méthodologique de la revue systématique grâce à la grille R-AMSTAR (renseignée)

L'échelle R-AMSTAR renseignée a permis d'évaluer la qualité méthodologique de la revue systématique. Cette échelle est composée de onze items dont le score total varie de 11 à 44 points.

Un classement selon une échelle ordinale a été réalisé par Morichon et Pallot en 2014 [104]. Il permet d'estimer la qualité d'une revue en fonction du score obtenu grâce à l'échelle R-AMSTAR en quatre quartiles :

- 1er quartile de 11 à 18 : qualité méthodologique insuffisante
- 2ème quartile de 19 à 27 : qualité méthodologique faible
- 3ème quartile de 28 à 35 : qualité méthodologique moyenne
- 4e quartile de 36 à 44 : qualité méthodologique bonne.

R – AMSTAR* – ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DES REVUES SYSTÉMATIQUES

*AMSTAR révisé

AMSTAR : a measurement tool to assess the methodological quality of systematic reviews

Comment fonctionne la liste de contrôle R-AMSTAR?

La liste comporte, dans la colonne gauche, 11 questions sur la qualité de la revue. En fonction des critères présentés dans la colonne droite, attribuer à chaque question un score de 1 à 4. La somme des scores constitue le score de qualité global de la revue systématique.

Éléments AMSTAR

1. Un plan de recherche établi a priori est-il fourni?

La question de recherche et les critères d'inclusion des études doivent être déterminés avant le début de la revue.

Critères

- A. Publication et (ou) inscription du protocole d'étude à l'avance
- B. Description des critères d'inclusion
- C. Question de recherche bien ciblée (critères PICO)

Conditions d'attribution du score

3 critères → 4, 2 → 3, 1 → 2, 0 → 1

Explication A. :

Il doit être dit explicitement que le protocole a été publié ou inscrit, par exemple dans PROSPERO, registre de revues systématiques prospectif et multinational accessible en ligne.
C. La question renferme les critères PICO, soit Population, Intervention (ou exposition), Comparateur (ou témoins) et Résultats (Outcomes).

Score : 3 points

Commentaire :

A : Non

B : Oui

C : Oui

2. La sélection des études et l'extraction des données ont-ils été confiés à au moins deux personnes?

Au moins deux personnes doivent procéder à l'extraction des données de façon indépendante, et une méthode de consensus doit avoir été mise en place pour le règlement des différends.

<i>Critères</i> A. Données extraites par au moins deux personnes, de façon indépendante (déclaration explicite ou implicite) B. Énoncé sur le processus de consensus pour le règlement des différends C. Résolution des désaccords entre les personnes ayant extrait les données conformément à la méthode établie (déclaration explicite ou implicite) <i>Conditions d'attribution du score</i> 3 critères→4, 2→3, 1→2, 0→1	Score 1 point Commentaire : A : Non B : Non C : Non
---	---

3. La recherche documentaire était-elle exhaustive?

Au moins deux sources électroniques doivent avoir été utilisées. Le rapport doit comprendre l'horizon temporel de la recherche et les bases de données interrogées (Central, EMBASE et MEDLINE, par exemple). Les mots clés et (ou) les termes MeSH doivent être indiqués et, si possible, la stratégie de recherche complète doit être exposée. Toutes les recherches doivent être complétées par la consultation des tables des matières de revues scientifiques récentes, de revues de la littérature, de manuels, de registres spécialisés ou d'experts dans le domaine étudié et par l'examen des références fournies dans les études répertoriées.

<i>Critères</i> A. Au moins deux sources électroniques ont été utilisées. B. L'horizon temporel et les bases de données interrogées sont indiqués. C. Les mots clés et (ou) les termes MeSH sont indiqués et, si possible, la stratégie de recherche est exposée. D. Toutes les recherches sont complétées par la consultation des tables des matières de revues scientifiques récentes, de revues de la littérature, de manuels ainsi que de registres et par l'examen des références fournies dans les études répertoriées. E. Une recherche manuelle a été effectuée dans les revues. <i>Conditions d'attribution du score</i> 4 ou 5 critères→4, 3→3, 2→2, 1 ou 0→1 <i>Explication E. :</i> La recherche manuelle consiste à repérer les revues très pertinentes et à faire une recherche à la main, page par page, de leur contenu afin de relever d'éventuelles études admissibles.	Score 4 points Commentaire : A : Oui B : Oui C : Oui D : Oui E : Oui
--	--

4. La nature de la publication (littérature grise, par exemple) était-elle un critère d'inclusion?

Les auteurs doivent indiquer s'ils ont recherché tous les rapports, quel que soit le type de publication, ou s'ils ont exclu des rapports (de leur revue systématique) sur la base du type de publication, de la langue, etc.

Critères	Score 3 points
A. Les auteurs indiquent qu'ils ont recherché tous les rapports, quel que soit le type de publication.	Commentaire :
B. Les auteurs indiquent s'ils ont exclu des rapports sur la base du type de publication, de la langue, etc.	A : Oui
C. « Les articles rédigés dans une langue autre que l'anglais ont été traduits » ou les lecteurs maîtrisaient assez bien la langue du rapport.	B : Oui
D. Aucune restriction fondée sur la langue ou prise en compte des articles rédigés dans une langue autre que l'anglais	C : Non
	D : Non
Conditions d'attribution du score	
3 ou 4 critères→4, 2→3, 1→2, 0→1	

5. Une liste des études (incluses et exclues) est-elle fournie?

Une liste des études incluses et exclues doit être fournie.

Critères	Score 2 points
A. Les études incluses doivent être réunies dans un tableau, une liste ou une figure; une simple liste de références ne suffit pas.	Commentaire :
B. Les études exclues doivent être réunies dans un tableau, une liste ou une figure qui sera intégré à l'article ou à un supplément.	A : Oui
C. Les raisons de l'exclusion des études sérieusement prises en considération doivent être exposées de manière suffisamment claire.	B : Non
D. Le lecteur peut retracer aisément les études incluses et exclues dans la bibliographie, les références ou le supplément de l'article.	C : Oui
	D : Non
Conditions d'attribution du score	
4 critères→4, 3→3, 2→2, 1→1	
Explication :	
Les études exclues sont celles qui, après avoir été sérieusement prises en considération sur la foi du titre et (ou) du résumé, ont été rejetées après lecture du corps du texte.	

6. Les caractéristiques des études incluses sont-elles indiquées?

Les données portant sur les sujets qui ont participé aux études originales, les interventions qu'ils ont reçues et les résultats doivent être regroupées, sous forme de tableau, par exemple. L'étendue des données sur les caractéristiques des sujets de toutes les études analysées (âge, race, sexe, données socio-économiques pertinentes, nature, durée et gravité de la maladie, autres maladies, par exemple) doit y figurer.

Critères	Score :4 points
A. Les données portant sur les sujets qui ont participé aux études originales, les interventions qu'ils ont reçues et les résultats sont regroupées, sous forme de tableau, par exemple.	Commentaire :
B. Les auteurs précisent l'étendue des données sur les caractéristiques pertinentes des sujets des études analysées.	A : Oui
C. L'information fournie semble complète et exacte.	B : Oui
	C : Oui
<i>Conditions d'attribution du score</i> 3 critères → 4, 2 → 3, 1 → 2, 0 → 1	

7. La qualité scientifique des études incluses a-t-elle été évaluée et consignée?

Les méthodes d'évaluation déterminées a priori doivent être indiquées (par exemple, pour les études sur l'efficacité pratique, le choix de n'inclure que les essais cliniques randomisés à double insu avec placebo ou de n'inclure que les études où l'affectation des sujets aux groupes d'étude était dissimulée); pour d'autres types d'études, d'autres critères d'évaluation seront à prendre en considération.

Critères	Score :4 points
A. Les méthodes a priori sont indiquées.	Commentaire :
B. La qualité scientifique des études incluses semble valable.	A : Oui
C. Le niveau de preuve est exposé, dûment reconnu ou pris en considération.	B : Oui
D. La qualité des preuves est évaluée ou classée en fonction d'outils d'évaluation de la preuve.	C : Oui
	D : Oui
<i>Conditions d'attribution du score</i> 4 critères → 4, 3 → 3, 2 → 2, 1 ou 0 → 1	
<i>Explications D. :</i> Un outil d'évaluation de la preuve est un instrument qui sert à établir le niveau de preuve. Ex. : l'outil GRADE (<i>Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation</i>).	

8. La qualité scientifique des études incluses dans la revue a-t-elle été utilisée adéquatement dans la formulation des conclusions?

Les résultats de l'évaluation de la rigueur méthodologique et de la qualité scientifique des études incluses doivent être pris en considération dans l'analyse et les conclusions de la revue, et formulés explicitement dans les recommandations.

Critères

- A. Les auteurs ont tenu compte de la qualité scientifique dans l'analyse et les conclusions de la revue.
- B. La qualité scientifique est formulée explicitement dans les recommandations.
- C. Les conclusions sont orientées vers la production de guides de pratique.
- D. L'énoncé de consensus clinique laisse entrevoir la révision ou la confirmation des recommandations de pratique.

Conditions d'attribution du score

4 critères → 4, 3 → 3, 2 → 2, 1 ou 0 → 1

Score 4 points

Commentaire :

- A : Oui
- B : Oui
- C : Oui
- D : Oui

9. Les méthodes utilisées pour combiner les résultats des études sont-elles appropriées?

Si l'on veut regrouper les résultats des études, il faut effectuer un test d'homogénéité afin de s'assurer qu'elles sont combinables (chi carré ou I^2 , par exemple). S'il y a hétérogénéité, il faut utiliser un modèle d'effets aléatoires et (ou) vérifier si la nature des données cliniques justifie la combinaison (la combinaison est-elle raisonnable?).

Critères

- A. Les auteurs exposent les critères à partir desquels ils ont déterminé que les études analysées étaient assez semblables pour être combinées.
- B. Dans le cas des résultats regroupés, les auteurs ont fait un test d'homogénéité pour s'assurer que les études étaient combinables.
- C. Les auteurs ont pris acte du caractère hétérogène (ou non) des études.
- D. S'il y a hétérogénéité, les auteurs ont utilisé un modèle d'effets aléatoires et (ou) vérifié si la nature des données justifiait la combinaison.
- E. S'il y a homogénéité, les auteurs exposent la justification ou le test statistique.

Conditions d'attribution du score

4 ou 5 critères → 4, 3 → 3, 2 → 2, 1 ou 0 → 1

Score 2 points

Commentaire :

- A : Oui
- B : Non
- C : Oui
- D : Non
- E : Non

10. La probabilité d'un biais de publication a-t-elle été évaluée?

Une évaluation du biais de publication doit comprendre une association d'outils graphiques (diagramme de dispersion des études ou autre test) et (ou) des tests statistiques (test de régression d'Egger, par exemple).

Critères A. Prise en compte du biais de publication ou de l'effet tiroir B. Outils graphiques (diagramme de dispersion des études, par exemple) C. Tests statistiques (test de régression d'Egger, par exemple) <i>Conditions d'attribution du score</i> 3 critères → 4, 2 → 3, 1 → 2, 0 → 1	Score 1 point Commentaire : A : Non B : Non C : Non
--	---

11. Les conflits d'intérêts ont-ils été déclarés?

Les sources possibles de soutien doivent être déclarées, tant pour la revue systématique que pour les études qui y sont incluses.

Critères A. Présentation des sources de soutien B. Absence de conflit d'intérêts – On est ici dans la subjectivité; peut-être faudra-t-il y aller par déduction ou fouiller quelque peu. C. Prise en compte ou énoncé des sources de soutien ou des conflits d'intérêts dans les principales études incluses <i>Conditions d'attribution du score</i> 3 critères → 4, 2 → 3, 1 → 2, 0 → 1	Score 3 points Commentaire : A : Oui B : Oui C : Non
---	--

Score de qualité maximal : 44	Score de qualité 31 points
--------------------------------------	-----------------------------------

PEROSH OSH Evidence Methods (Partnership for European Research in Occupational Safety and Health)

©Kung et al. From Systematic Reviews to Clinical Recommendations for Evidence-Based Health Care: Validation of Revised Assessment of Multiple Systematic Reviews (R-AMSTAR) for Grading of Clinical Relevance. The Open Dentistry Journal, 2010, 4: 84-91.

Annexe XIV: Échelles visuelles analogiques (EVA) de la douleur habituelle, de la pire douleur et de la pire douleur pendant la course

L'EVA évalue l'intensité de la douleur sur une échelle de dix centimètres : 0 étant décrit comme aucune douleur et 10 la pire douleur imaginable [67, 68, 74, 76]. La DMCI est de 1,5 cm pour les douleurs moyennes et de 2,0 cm pour les pires douleurs [93]. Aucune étude n'a encore déterminé la DMCI pour les douleurs liées à la course. Dans le cadre de cette revue, nous avons supposé qu'elle est similaire à celle des pires douleurs et l'avons donc établie à 2,0 cm.

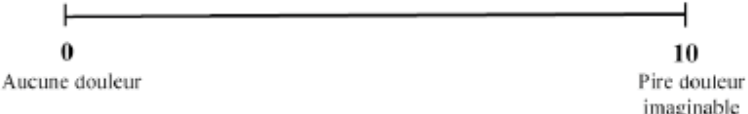


ÉCHELLES DE DOULEUR
<p style="text-align: center;">Sur une échelle de 0 à 10, où 0 correspond à « aucune douleur » et 10 correspond à la « pire douleur imaginable », veuillez <u>tracer un trait</u> correspondant à l'intensité de votre douleur au genou <u>pendant la dernière semaine</u>:</p>
<p>Votre douleur habituelle:</p> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  </div>
<p>Votre pire douleur:</p> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  </div>
<p>Votre pire douleur à la course:</p> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  </div>

Figure XIV: Échelles numériques de la douleur habituelle, la pire douleur et la pire douleur pendant la course (D'après Esculier et al., 2017) [119]

Annexe XV: Échelle de douleur Patellofemorale Pain Syndrome Severity Scale (PSS)

L'échelle « Patellofemorale Pain Syndrome Severity Scale » (PSS) évalue la douleur entre 0 (état normal du genou) et 100 points (pire état) [90].

Le système d'évaluation est le même qu'une autre échelle d'évaluation de la douleur (VAS-activity) utilisant l'EVA pour six activités (marche, course, accroupissement, position assise, montée et descente d'escaliers). Or ces six activités font parties des dix mesurées dans l'échelle PSS. La DMCI de VAS-activity étant de 8 cm, celle de l'échelle PSS a été estimée proportionnellement à 13 cm ($8\text{cm} \times 10/6$) [93].

Appendix – PFPS Severity Scale

For each statement, please indicate with an 'X' how much knee pain you have experienced over the last week.

CLIMBING STAIRS	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1; border-top: 1px solid black; position: relative;"> <div style="position: absolute; left: 0; top: -5px;"> </div> <div style="position: absolute; right: 0; top: -5px;"> </div> <div style="position: absolute; left: 0; bottom: 5px;">none</div> <div style="position: absolute; right: 0; bottom: 5px;">unbearable</div> </div> <div style="margin-left: 10px;"> <input type="checkbox"/> not attempted </div> </div>
SQUATTING DOWN	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1; border-top: 1px solid black; position: relative;"> <div style="position: absolute; left: 0; top: -5px;"> </div> <div style="position: absolute; right: 0; top: -5px;"> </div> <div style="position: absolute; left: 0; bottom: 5px;">none</div> <div style="position: absolute; right: 0; bottom: 5px;">unbearable</div> </div> <div style="margin-left: 10px;"> <input type="checkbox"/> not attempted </div> </div>
WALKING	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1; border-top: 1px solid black; position: relative;"> <div style="position: absolute; left: 0; top: -5px;"> </div> <div style="position: absolute; right: 0; top: -5px;"> </div> <div style="position: absolute; left: 0; bottom: 5px;">none</div> <div style="position: absolute; right: 0; bottom: 5px;">unbearable</div> </div> <div style="margin-left: 10px;"> <input type="checkbox"/> not attempted </div> </div>
JOGGING	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1; border-top: 1px solid black; position: relative;"> <div style="position: absolute; left: 0; top: -5px;"> </div> <div style="position: absolute; right: 0; top: -5px;"> </div> <div style="position: absolute; left: 0; bottom: 5px;">none</div> <div style="position: absolute; right: 0; bottom: 5px;">unbearable</div> </div> <div style="margin-left: 10px;"> <input type="checkbox"/> not attempted </div> </div>
RUNNING/SPRINTING	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1; border-top: 1px solid black; position: relative;"> <div style="position: absolute; left: 0; top: -5px;"> </div> <div style="position: absolute; right: 0; top: -5px;"> </div> <div style="position: absolute; left: 0; bottom: 5px;">none</div> <div style="position: absolute; right: 0; bottom: 5px;">unbearable</div> </div> <div style="margin-left: 10px;"> <input type="checkbox"/> not attempted </div> </div>
PARTICIPATING IN A SPORT	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1; border-top: 1px solid black; position: relative;"> <div style="position: absolute; left: 0; top: -5px;"> </div> <div style="position: absolute; right: 0; top: -5px;"> </div> <div style="position: absolute; left: 0; bottom: 5px;">none</div> <div style="position: absolute; right: 0; bottom: 5px;">unbearable</div> </div> <div style="margin-left: 10px;"> <input type="checkbox"/> not attempted </div> </div>
SITTING WITH KNEES BENT (for 20 minutes)	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1; border-top: 1px solid black; position: relative;"> <div style="position: absolute; left: 0; top: -5px;"> </div> <div style="position: absolute; right: 0; top: -5px;"> </div> <div style="position: absolute; left: 0; bottom: 5px;">none</div> <div style="position: absolute; right: 0; bottom: 5px;">unbearable</div> </div> <div style="margin-left: 10px;"> <input type="checkbox"/> not attempted </div> </div>
KNEELING ON KNEES (for any amount of time)	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1; border-top: 1px solid black; position: relative;"> <div style="position: absolute; left: 0; top: -5px;"> </div> <div style="position: absolute; right: 0; top: -5px;"> </div> <div style="position: absolute; left: 0; bottom: 5px;">none</div> <div style="position: absolute; right: 0; bottom: 5px;">unbearable</div> </div> <div style="margin-left: 10px;"> <input type="checkbox"/> not attempted </div> </div>
PAIN AT REST/SLEEPING	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1; border-top: 1px solid black; position: relative;"> <div style="position: absolute; left: 0; top: -5px;"> </div> <div style="position: absolute; right: 0; top: -5px;"> </div> <div style="position: absolute; left: 0; bottom: 5px;">none</div> <div style="position: absolute; right: 0; bottom: 5px;">unbearable</div> </div> <div style="margin-left: 10px;"> <input type="checkbox"/> not attempted </div> </div>
PAIN WHILE RESTING FOLLOWING ACTIVITY	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1; border-top: 1px solid black; position: relative;"> <div style="position: absolute; left: 0; top: -5px;"> </div> <div style="position: absolute; right: 0; top: -5px;"> </div> <div style="position: absolute; left: 0; bottom: 5px;">none</div> <div style="position: absolute; right: 0; bottom: 5px;">unbearable</div> </div> <div style="margin-left: 10px;"> <input type="checkbox"/> not attempted </div> </div>

Figure XV: Patellofemorale Pain Syndrome Severity Scale (PSS) (D'après Laprade et al., 2002) [120]

Annexe XVI: Échelle Kujala ou Anterior Knee Pain Scale (AKPS)

L'échelle « Kujala » également appelée « Anterior Knee Pain Scale » (AKPS) mesure la douleur, mais aussi l'incapacité fonctionnelle [90]. Le score varie de 0 (pire) à 100 (genou normal sans symptôme et sans restriction des fonctions quotidiennes) et indique la gravité du SFP [90]. La DMCI varie entre 8 et 10 points pour cette échelle [93].

Douleur face antérieure au genou (code feuille _____)

Nom : _____

Date : _____

Age : _____

Genou : G/D

Durée des symptômes : _____ années _____ mois

Pour chaque question, entourez la proposition correspondant aux symptômes que vous ressentez actuellement au genou :

1. Boiterie

- (a) Aucune (5)
- (b) Légère ou périodique (3)
- (c) Constante (0)

2. Se tenir debout

- (a) Station debout complète sans douleur (5)
- (b) Station debout douloureuse (3)
- (c) Station debout impossible (0)

3. Marcher

- (a) Illimité (5)
- (b) Plus de 2 km (3)
- (c) 1-2 km (2)
- (d) Incapable (0)

4. Escaliers

- (a) Sans difficulté (10)
- (b) Légère douleur en descendant les marches (8)
- (c) Douleur en montant et en descendant les marches (5)
- (d) Incapable (0)

5. S'accroupir

- (a) Sans difficulté (5)
- (b) Douloureux quand les accroupissements sont répétés (4)
- (c) Douloureux à chaque fois (3)
- (d) Possible avec décharge partielle du poids du corps (2)
- (e) Incapable (0)

6. Courir

- (a) Aucune difficulté (10)
- (b) Douleur après plus de 2 km (8)
- (c) Légère douleur dès le début (6)
- (d) Douleur sévère (3)
- (e) Incapable (0)

7. Sauter

- (a) Aucune difficulté (10)
- (b) Légère difficulté (7)
- (c) Douleur constante (2)
- (d) Incapable (0)

8. Position assise prolongée avec les genoux fléchis

- (a) Aucune difficulté (10)
- (b) Douleur après l'exercice (8)
- (c) Douleur constante (6)
- (d) Douleur obligeant à étendre les genoux temporairement (4)
- (e) Incapable (0)

9. Douleur

- (a) Aucune (10)
- (b) Légère et occasionnelle (8)
- (c) Perturbe le sommeil (6)
- (d) Occasionnellement sévère (3)
- (e) Constante et sévère (0)

10. Gonflement

- (a) Aucun (10)
- (b) Après un effort intense (8)
- (c) Après des activités quotidiennes (6)
- (d) Tous les soirs (4)
- (e) Constant (0)

11. Douleur rotulienne anormale lors des mouvements (subluxations)

- (a) Aucune (10)
- (b) Occasionnellement dans les activités sportives (6)
- (c) Occasionnellement dans les activités quotidiennes (4)
- (d) Au moins un épisode de luxation documenté (2)
- (e) Plus de deux luxations (0)

12. Fonte musculaire de la cuisse

- (a) Aucune (5)
- (b) Légère (3)
- (c) Sévère (0)

13. Perte de flexion

- (a) Aucune (5)
- (b) Légère (3)
- (c) Sévère (0)

Figure XVI: Échelle Kujala ou Anterior knee pain scale (AKPS) (D'après Kaux et al., 2018) [121]

Annexe XVII: Échelle Knee Outcome Survey Activities of Daily Living Scale (KOS-ADLS)

Pour les limitations fonctionnelles, il s'agit de la version française de l'échelle KOS-ADLS (Knee Outcome Survey of the Activities of Daily Living Scale) [74]. Un taux de 100% désigne une absence de douleur et de limitation fonctionnelle [74]. La DMCI de cette dernière échelle est de 13,6 points [93].

NUMÉRO D'IDENTIFICATION : _____
 DATE DE L'ÉVALUATION (JOUR/MOIS/ANNÉE) : ____ / ____ / ____
 ÉVALUATION INITIALE

KNEE OUTCOME SURVEY ACTIVITIES OF DAILY LIVING SCALE

INSTRUCTIONS

Le questionnaire qui suit vise à évaluer les symptômes et les limitations que vous rencontrez dans vos activités quotidiennes habituelles en raison de votre genou. Veuillez répondre à chacune des questions **en cochant l'énoncé qui correspond le mieux à votre situation des derniers 1 à 2 jours**. Il est possible que, pour une question donnée, plus d'un énoncé corresponde à votre situation; veuillez choisir seulement l'énoncé qui correspond le mieux à votre situation lors de vos activités quotidiennes habituelles.

SYMPTÔMES

À quel point chacun des symptômes suivants affecte-t-il votre niveau d'activités quotidiennes? Ne cochez qu'une réponse par ligne.

	Je n'ai pas ce symptôme	J'ai ce symptôme mais il n'affecte en rien mes activités	Ce symptôme affecte légèrement mes activités	Ce symptôme affecte modérément mes activités	Ce symptôme affecte sévèrement mes activités	Ce symptôme m'empêche de faire toutes mes activités quotidiennes
1. Douleur	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Raideur	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Enflure	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Dérobement (genou qui cède ou qui lâche)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Faiblesse	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Boiterie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

LIMITATIONS FONCTIONNELLES PENDANT LES ACTIVITÉS DE LA VIE QUOTIDIENNE

Comment votre genou affecte-t-il votre capacité à ... Ne cochez qu'une réponse par ligne.

	L'activité n'est pas difficile	L'activité est minimalement difficile	L'activité est un peu difficile	L'activité est assez difficile	L'activité est très difficile	Je suis incapable de faire l'activité
7. Marcher?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. Monter les escaliers?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. Descendre les escaliers?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. Vous tenir debout?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11. Vous agenouiller sur l'avant des genoux?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12. Vous accroupir?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13. Rester assis les genoux pliés?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14. Vous lever d'une chaise?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

15. Sur une échelle de 0 à 100, comment coteriez-vous le niveau fonctionnel actuel de votre genou pendant vos activités quotidiennes habituelles? Dans cette échelle, 100 correspond au niveau fonctionnel de votre genou avant votre atteinte, et 0 correspond à une incapacité à faire toutes vos activités quotidiennes habituelles.

16. Comment qualifieriez-vous le niveau fonctionnel global de votre genou pendant vos activités quotidiennes habituelles? Veuillez cocher la réponse qui correspond le mieux à votre situation.

- ☐ Normal
- ☐ Presque normal
- ☐ Anormal
- ☐ Sévèrement anormal

17. En raison de votre atteinte au genou, comment qualifieriez-vous votre niveau fonctionnel actuel durant vos activités quotidiennes? Veuillez cocher la réponse qui correspond le mieux à votre situation.

- ☐ Normal
- ☐ Presque normal
- ☐ Anormal
- ☐ Sévèrement anormal

Esculier, Roy & Maltais (2012) pour la version canadienne française du questionnaire
Traduit et adapté à partir de la version originale anglaise du questionnaire « Activities of Daily Living Scale » développé par Ingang et al. (1995)

5

Figure XVII: Knee Outcome Survey Activities of daily living scale (KOS-ADLS) (D'après Esculier et al., 2017) [119]

Annexe XVIII: Échelle Lower Extremity Functional Scale (LEFS)

« The Lower Extremity Functional Scale » (LEFS) mesure la capacité du participant à accomplir vingt tâches de la vie quotidienne (y compris l'accroupissement, la marche et la course) dont le score maximal est de 80 points [92]. La DMCI est de 9 points [95].

Name:

Date:

Instructions

We are interested in knowing whether you are having any difficulty at all with the activities listed below **because of your lower limb problem** for which you are currently seeking attention. Please provide an answer for **each** activity.

Today, do you or would you have any difficulty at all with:

Activities	Extreme difficulty or unable to perform activity	Quite a bit of difficulty	Moderate difficulty	A little bit of difficulty	No difficulty
1. Any of your usual work, housework or school activities.	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="4"/>
2. Your usual hobbies, recreational or sporting activities.	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="4"/>
3. Getting into or out of the bath.	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="4"/>
4. Walking between rooms.	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="4"/>
5. Putting on your shoes or socks.	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="4"/>
6. Squatting.	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="4"/>
7. Lifting an object, like a bag of groceries from the floor.	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="4"/>
8. Performing light activities around your home.	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="4"/>
9. Performing heavy activities around your home.	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="4"/>
10. Getting into or out of a car.	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="4"/>
11. Walking 2 blocks.	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="4"/>
12. Walking a mile.	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="4"/>
13. Going up or down 10 stairs (about 1 flight of stairs).	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="4"/>
14. Standing for 1 hour.	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="4"/>
15. Sitting for 1 hour.	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="4"/>
16. Running on even ground.	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="4"/>
17. Running on uneven ground.	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="4"/>
18. Making sharp turns while running fast.	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="4"/>
19. Hopping.	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="4"/>
20. Rolling over in bed.	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="4"/>
Column Totals:	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Column Totals to be filled in by PT Staff.

Page 2

Figure XVIII: Lower Extremity Functional Scale (LEFS) (D'après Binkley et al., 1999)[95]

Annexe XIX: Les raisons physiologiques d'une amélioration des symptômes lors du passage à une foulée minimaliste

Cette annexe expose les différentes hypothèses physiologiques expliquant la diminution des contraintes et l'amélioration des symptômes FP.

Hypothèse 1 : Diminution de la force d'impact verticale

D'abord, comme l'explique le *Tableau XIV*, le passage à une foulée minimaliste semble diminuer les forces de réaction verticales au sol. Les interventions sont détaillées en *Annexe VIII* en plus de celles évaluant les forces compressives FP. Cette hypothèse est appuyée dans trois des études incluses de la revue (Cheung et al., 2011 ; Roper et al., 2016 et Esculier et al., 2017) [67, 74, 90].

Le pic d'impact vertical et les taux de charge moyen et instantané sont abaissés lors du passage à une attaque « avant-pied » dans les études de Cheung et al., 2011 et Kulmala et al., 2013 [75, 90]. Le résultat était significatif dans cette dernière étude [75]. Néanmoins, deux études de Kulmala et al., 2013 et de Vannatta et al., 2015 ont montré une augmentation non significative de 7,6% et 6,6% de la force de réaction verticale maximale (ou pic de propulsion) [72, 75]. Ces observations peuvent être dues au changement de foulée chez des coureurs qui avaient une foulée initiale « arrière-pied » dans ces deux études contrairement à celle de Lenhart et al., 2014 [72, 75]. En effet, dans l'étude de Lenhart et al., 2014, une augmentation de la cadence de 10% par rapport à la cadence initiale réduisait le taux de charge moyen et la force de réaction verticale au sol [96]. L'étude d'Esculier et al., 2017 a également montré une diminution significative du taux de charge vertical moyen de 25,4% dans le groupe avec rééducation du patron de course [74]. En résumé, bien que la réduction des forces d'impacts lors de la course à pied ne soit pas toujours significative, elle pourrait tout de même expliquer l'influence positive de la foulée minimaliste sur les contraintes et les symptômes FP.

	Pic d'impact vertical	Taux de charge moyen	Taux de charge instantané	Force de réaction verticale max
<u>Attaque avant-pied</u>				
Kulmala 2013	-26%*	-47%*	NC	+7,6%
Cheung 2011	-15,29%	-23,27%	-23,68%	NC
Vannatta 2015	NC	NC	NC	+6,6%
<u>Augmentation de la cadence 10%</u>				
Lenhart 2014	NC	-11%	NC	-14%
<u>Attaque avant-pied ou augmentation de la cadence (7,5-10%)</u>				
Esculier 2017	NC	-25,4%*	NC	NC

Tableau XIV: Impact de la foulée minimaliste sur les forces de réaction verticales au sol
 (* : réduction statistiquement significative)

Hypothèse 2 : Exposition progressive aux impacts

Une autre explication pourrait être le fait de considérer la foulée minimaliste comme un protocole de remise en charge et d'exposition progressive aux impacts. Elle est donnée dans trois des études incluses (Neal et al., 2018 ; Esculier et al., 2017 et Dos Santos et al., 2019) [68, 74, 91].

Par exemple, un protocole de remise en charge a été utilisé dans les études de Cheung et al., 2011, Roper et al., 2016 et Dos Santos et al., 2019 [67, 68, 90]. Les participants couraient seulement soixante-dix-huit minutes la première semaine et cent-dix-sept minutes la deuxième semaine alors que leur distance de course moyenne avant l'intervention variait de 22,9 à 30,7 km par semaine [67, 68, 90]. La distance de course était donc réduite avant d'être progressivement réaugmentée. La posologie dans ces trois études était de huit séances tout de même très rapprochées avec quatre séances par semaine sur deux semaines [67, 68, 90]. Afin de réduire encore plus la fréquence de mise en charge, l'ECR d'Esculier et al., 2017 a diminué le nombre total de séances à cinq et les réparties sur une plus longue durée, de huit semaines [74]. Néanmoins, à la différence des trois autres études, les coureurs de cet ECR étaient autorisés à courir en dehors des séances [74]. De même, le temps de course était augmenté progressivement au fil du temps dans toutes les études [67, 68, 74, 76, 90–92]. La deuxième hypothèse serait donc que l'amélioration des symptômes serait due au protocole de remise en charge progressif.

Hypothèse 3 : Diminution du valgus dynamique de genou

Au niveau du genou, l'abduction fémoro-tibiale participe au valgus dynamique qui est un facteur de risque du SFP [18, 32]. Or dans l'étude de Roper et al., 2016, le passage à une attaque « avant-pied » a permis une réduction significative de 2,2° en moyenne de cet angle lors de l'impact du pied au sol [67].

Au niveau de la hanche, l'adduction, la rotation médiale ainsi que la chute du bassin controlatéral participent au valgus dynamique du genou [10]. Diminuer ces trois paramètres s'est avéré efficace sur les douleurs FP chez des coureurs dans deux séries de cas (Noehren et al., 2010 et Willy et al., 2012) [101, 102].

La foulée minimaliste pourrait également réduire ces angulations de manière indirecte et ainsi atténuer les douleurs FP. Trois des études incluses soutiennent cette explication (Neal et al., 2018 ; Bramah et al., 2019 et Dos Santos et al., 2019) [68, 91, 92].

En effet, deux études ont déjà montré une réduction des moments d'adduction (Heiderscheit et al., 2010 et Willy et al., 2016) et de rotation médiale de hanche (Heiderscheit et al., 2010) suite à une augmentation de la cadence de 10% chez des sujets sains [98, 99].

De même, l'augmentation de la cadence de 10% a permis une réduction significative de l'adduction de hanche et de la chute du bassin controlatéral chez les coureurs atteints de SFP dans l'étude de Bramah et al., 2019 [92]. Ces différences sont supérieures à celles également observées dans les études de Neal et al., 2018 [91] et de Dos Santos et al., 2019 [68]. De même la rotation médiale de hanche a été réduite de façon significative et de 5,1° en moyenne après une augmentation de la cadence de 7,5% dans l'étude de Neal et al., 2018 [91]. Tandis qu'elle ne dépassait pas les 0,5° dans celle de Bramah et al., 2019 [92]. Les critères d'inclusion dans l'étude de Bramah et al. plus orientés sur l'adduction et la chute du bassin que la rotation médiale, peuvent alors expliquer la différence de résultat [92].

La réduction des contraintes notamment sur le compartiment latéral de la rotule par une diminution du valgus dynamique du genou est donc une autre explication.

Hypothèse 4 : Augmentation de la flexion de genou au contact initial

Du fait que foulée minimaliste soit associée à de courtes foulées entraînant un atterrissage plus vertical du tibia, elle augmenterait la flexion de genou lors de l'impact du pied au sol [3, 4]. La flexion de genou accentuée permettrait alors un meilleur amorti atténuant la force de l'impact sur l'articulation FP. Cette autre hypothèse a été formulée dans trois des études incluses (Roper et al., 2016 ; Cheung et al., 2011 et Dos Santos et al., 2019) [67, 68, 90].

En effet, dans deux de ces études, l'attaque « avant-pied » a augmenté la flexion de genou lors du contact du pied au sol [67, 68]. Elle était augmentée en moyenne de 4,04° dans l'étude de Dos Santos et al., 2019 et de 6° dans celle de Roper et al., 2016 [67, 68]. Alors que la variation dans l'amplitude du genou était significative dans l'étude de Roper et al., 2016 [67], ce n'était pas le cas dans celle de Dos Santos et al., 2019 [68].

De plus, une pré-activation des muscles gastrocnémiens et droit fémoral a été observée suite à cette même intervention de Dos Santos et al., 2019 [68]. Elle pourrait alors permettre une meilleure stabilisation du membre inférieur en plus d'atténuer les forces d'impact sur l'articulation [68].

Hypothèse 5 : Diminution de la flexion de genou pendant la phase d'appui

La dernière hypothèse développée dans deux des études incluses dans la revue (Neal et al., 2018 et Bramah et al., 2019) semble contredire la précédente [91, 92]. À l'inverse de la flexion

augmentée lors du contact initial, le genou serait plus tendu lors de la phase d'appui après une augmentation de la cadence.

En effet, une augmentation de la cadence de 10% a diminué significativement la flexion maximale de genou de $4,1^{\circ}$ dans l'étude de Bramah et al., 2019 [92]. Elle a été également modérément réduite de $3,7^{\circ}$ après une augmentation de la cadence de 7,5% dans l'étude de Neal et al., 2018 [91]. Ces résultats correspondent à la réduction significative de $3,3^{\circ}$ suite à une augmentation de la cadence de 10% chez des sujets sains dans l'étude de Lenhart et al., 2014 [96]. Or la diminution de la flexion maximale du genou s'est avérée être la valeur la plus corrélée à la réduction de la force de réaction FP dans l'étude de Lenhart et al., 2014 [96]. De plus, cette même étude a montré une moindre sollicitation du quadriceps associée à une plus grande rectitude du genou en appui qui participerait également à la réduction des contraintes FP [96].

Annexe XX: Formulation de recommandations d'après les grilles

NHMRC

L'échelle « National Health and Medical Research Council » (NHMRC) de 2009 a permis d'établir des recommandations dans le cadre de cette revue. La quantité, le niveau de preuve, la qualité, la cohérence, l'impact clinique, la généralisabilité et l'applicabilité des études incluses dans la revue ont été pris en compte.

Éléments	A	B	C	D
	Excellent	Bon	Satisfaisant	Médiocre
Études sources des données Quantité Niveau de preuve* Qualité des études (risque de biais)	Au moins une étude de niveau I avec un risque de biais faible ou plusieurs études de niveau II avec un risque de biais faible.	Une ou deux études de niveau II avec un risque de biais faible ou une revue systématique de plusieurs études de niveau III avec un risque de biais faible.	Une ou deux études de niveau III avec un risque de biais faible ou des études de niveau I ou II avec un risque de biais modéré.	Études de niveau IV ou études de niveau I à III/revues systématiques avec un risque de biais important.
Cohérence†	Toutes les études sont cohérentes.	La plupart des études sont cohérentes, et l'incohérence peut être expliquée.	Incohérence reflétant une véritable incertitude autour de la question clinique.	Les données scientifiques sont incohérentes.
Impact clinique	Très large.	Important.	Modéré.	Léger ou restreint.

	A	B	C	D
Généralisabilité	La (les) population(s) étudiée(s) dans l'ensemble des données scientifiques est(sont) la(les) mêmes que la population cible de la recommandation.	La(les) populations étudiée(s) dans l'ensemble des données scientifiques est(sont) similaire(s) à la population cible de la recommandation.	La(les) population(s) étudiée(s) dans l'ensemble des données scientifiques diffère(nt) de la population cible de la recommandation, mais il est raisonnable cliniquement d'appliquer ces données à la population cible.	La(les) population(s) étudiée(s) dans l'ensemble des données scientifiques diffère(nt) de la population cible, et il est difficile de juger s'il est raisonnable de généraliser à la population cible.
Applicabilité	Directement applicable au contexte du système de soins australien.	Applicable au système de soins avec quelques mises en garde.	Probablement applicable au système de soins avec des mises en garde.	Non applicable au contexte du système de soins.

* : niveau de preuve du NHMRC (voir tableau 25) ; † : si une seule étude est disponible, coter cet élément non applicable.

Tableau XV: Matrice de l'ensemble des données scientifiques (D'après le NHMRC 2009)

Grade	Description
A	On peut se fier à l'ensemble des données scientifiques pour guider la pratique.
B	On peut se fier à l'ensemble des données scientifiques pour guider la pratique dans la plupart des situations.
C	L'ensemble des données scientifiques fournit des justifications pour la recommandation mais il faut être attentif lors de sa mise en pratique.
D	L'ensemble des données scientifiques est faible et la recommandation doit être appliquée avec précaution.

Tableau XVI: Gradation des recommandations (D'après le NHMRC 2009)

RESUME

Contexte : Le syndrome fémoropatellaire est l'affection la plus fréquente chez le coureur. Or la foulée minimaliste semble diminuer le facteur de risque principal qui est un excès de contraintes sur l'articulation. Mais qu'en est-il de la douleur ? Cette technique pourrait ainsi réduire le risque de chronicisation. L'objectif est de déterminer les répercussions du passage à une foulée minimaliste sur l'intensité de la douleur chez l'adulte coureur atteint d'un syndrome fémoropatellaire.

Design : Revue systématique suivant les directives PRISMA.

Méthode : Une recherche a été effectuée sur Pubmed, Pedro, la Cochrane, Rehab+, Sciencedirect et Google scholar. La dernière date du 17 novembre 2019. Pour que l'étude soit incluse, l'intervention devait faire passer des coureurs adultes âgés de dix-huit à quarante-cinq ans et atteints d'un syndrome fémoropatellaire à une foulée minimaliste. Le critère de jugement principal était l'intensité de la douleur tandis que la fonction et la performance en course à pied étaient secondaires. Le niveau de preuve et la qualité des études incluses ont été déterminés. Une synthèse descriptive et qualitative a ensuite été effectuée afin d'analyser les résultats obtenus. Enfin, des recommandations ont été formulées.

Résultats : Quatre ECR et trois séries de cas ont été inclus dans la revue. Les douleurs (pires, moyennes, liées aux activités ou à la course) ainsi que les capacités fonctionnelles ont été améliorées. Ces avantages ont été maintenus dans le temps. Seules les performances en course à pied n'ont pas évolué suite au changement de foulée.

Discussion : Les preuves sont de grade A pour l'attaque « avant-pied », de grade B pour l'augmentation de la cadence associée aux chaussures minimalistes ou le traitement au cas par cas et de grade C pour l'augmentation de la cadence seule. Le changement de foulée doit toutefois être préparé et progressif. Le renforcement musculaire et l'éducation du coureur à la quantification du stress mécanique doivent ainsi y être associés.

Conclusion : La foulée minimaliste s'avère efficace sur les symptômes fémoropatellaires. Cependant, le nombre limité d'études, le design de certaines, les biais, l'hétérogénéité de méthodologie et des interventions rendent difficile l'élaboration d'une conclusion générale. D'autres études de haute qualité sont nécessaires pour conclure de façon probante.

Mots clés : syndrome fémoropatellaire, douleur fémoropatellaire, analgésie, foulée minimaliste, course à pied

ABSTRACT

Background: Patellofemoral pain is the most common running injury. The minimalist stride seems to reduce the main risk factor, which is an excessive mechanical overload on the joint. But what about the pain? This strategy could reduce the risk of chronicization. The objective of this review is to determine the impact of the transition to a minimalist stride on the intensity of pain for an adult runner with a patellofemoral syndrome.

Design: The systematic review was written according to the PRISMA guidelines.

Methodology: A search was conducted on Pubmed, Pedro, the Cochrane, Rehab+, Sciencedirect and Google scholar. The latest date is on November 17, 2019. To be included, the intervention's study had to consist of a transition to a minimalist stride on adult runners aged of eighteen to forty-five years old with patellofemoral pain. The primary outcome was variation of pain intensity, while function and running performance were secondary. The level of evidence and the quality of the included studies were determined. A descriptive and qualitative synthesis was then conducted to examine the results obtained. Finally, recommendations were proposed.

Results: Four RCTs and three case series were included in the review. Pain (worst, average, activity or running related pain) and functional abilities were improved. These benefits have been maintained over time. Only running performance did not change as a result of gait retraining.

Discussion: The evidence is Grade A for the transition to a "forefoot" attack, Grade B for the increase of rate associated with wearing minimalist footwear or case-by-case treatment, and Grade C for only the increase of rate. However, the running retraining must be prepared and progressive. Muscle strengthening and education of the runner in the quantification of mechanical stress should also be associated with it.

Conclusion: The minimalist stride seems effective for patellofemoral pain. The limited number of studies, the design of some of them, biases, heterogeneity of methodology and interventions make the elaboration of a general conclusion difficult. Other high-quality studies are needed to conclude with evidence.

Key Words: Patellofemoral pain, Patellofemoral syndrome, analgesia, minimalist stride, running.