



Institut Régional de Formation aux Métiers de la Rééducation et Réadaptation

Pays de la Loire.

54, rue de la Baugerie - 44230 SAINT- SÉBASTIEN SUR LOIRE

Prévention secondaire du syndrome fémoro-patellaire chez le coureur à pied récréatif

Revue systématique de la littérature

Noémie SALOMON

Mémoire UE28

Semestre 10

Année scolaire : 2020-2021

RÉGION DES PAYS DE LA LOIRE



AVERTISSEMENT

Les mémoires des étudiants de l'Institut Régional de Formation aux Métiers de la Rééducation et de la Réadaptation sont réalisés au cours de la dernière année de formation MK.

Ils réclament une lecture critique. Les opinions exprimées n'engagent que les auteurs. Ces travaux ne peuvent faire l'objet d'une publication, en tout ou partie, sans l'accord des auteurs et de l'IFM3R.

Remerciements

Je tiens à remercier l'ensemble des personnes qui m'ont aidée dans l'élaboration de ce travail de fin d'études.

Je remercie particulièrement mon directeur de mémoire, pour son accompagnement, son implication et ses conseils avisés tout au long de ce projet de recherche.

Je remercie également mes proches pour leur soutien et leur encouragement durant ces années d'études.

Résumé

Introduction : La course à pied, malgré ses bienfaits pour la santé, est associée à un nombre élevé de blessures musculo-squelettiques des membres inférieurs. Parmi celles-ci, le syndrome fémoro-patellaire (SFP) représente la blessure de surutilisation la plus fréquente, en particulier chez les coureurs récréatifs. Au regard des conséquences sportives, sociales et économiques, la prévention des blessures sportives constitue donc un enjeu majeur de santé publique. Actuellement, lors des consultations masso-kinésithérapiques en cabinet libéral, les interventions de prévention secondaire prédominent sur celles de prévention primaire.

Objectifs :

- Actualiser et enrichir les recommandations issues du guide pour la pratique clinique du SFP de Willy RW et al. de 2019, spécifiquement sur les moyens d'interventions kinésithérapiques de prévention secondaire du SFP chez le coureur récréatif.
- Déterminer l'effet de ces moyens d'interventions sur les paramètres biomécaniques et/ou les critères cliniques (douleur et fonction).

Méthode : Une revue systématique de la littérature a été réalisée en interrogeant trois bases de données scientifiques (PubMed, Science Direct, PEDro), à l'aide d'équations de recherches spécifiques.

Résultats : Suite à un processus de sélection basé sur des critères d'éligibilité préalablement définis, quatre études ont été incluses. Les résultats suggèrent des améliorations significatives de certains paramètres biomécaniques et des critères cliniques lors des interventions visant à modifier le schéma de course. De plus, l'utilisation de chaussures minimalistes révèle des améliorations significatives sur les paramètres biomécaniques.

Discussion : Cette revue de littérature a permis d'apporter des preuves supplémentaires par rapport aux recommandations précédemment établies. Cependant, compte tenu des limites et biais méthodologiques identifiés, l'analyse et l'interprétation des résultats doivent se faire avec précaution. Ainsi, de futures recherches d'un niveau de qualité élevé sont nécessaires afin de confirmer et valider les résultats.

Mots clés

- ✓ Syndrome fémoro-patellaire
- ✓ Coureurs à pied récréatifs
- ✓ Prévention secondaire

Abstract

Introduction : Running, despite its health benefits, is associated with a high number of musculoskeletal injuries of the lower extremities. Of these, patellofemoral pain (PFP) is the most common overuse injury, particularly for recreational runners. Given the sporting, social and economic consequences, the prevention of sports injuries is a major public health issue. Currently, during masso-physiotherapy consultations in private practice, secondary prevention interventions predominate over primary prevention interventions.

Objectives :

- To update and add to the recommendations of Willy RW and al. from 2019 in “PFP Clinical Practice Guidelines”, specifically on the means of secondary prevention physical therapy interventions for PFP in the recreational runner.
- Determine the effect of these means of interventions on biomechanical parameters and/or clinical criteria (pain and function).

Method : A systematic review of the literature was performed by searching three scientific databases (PubMed, Science Direct, PEDro), using specific search equations.

Results : Following a selection process based on previously defined eligibility criteria, four studies were included. The results suggest significant improvements in some biomechanical parameters and clinical criteria (pain and function) during interventions aimed at modifying the running pattern. In addition, the use of minimalist shoes revealed significant improvements in biomechanical parameters.

Discussion : This literature review helped providing additional evidence to previously established recommendations. However, given the methodological limitations and biases identified, the analysis and interpretation of the results must be done with caution. Thus, future high quality research is needed to confirm and validate the results.

Keywords

- ✓ Patellofemoral pain
- ✓ Recreational runners
- ✓ Secondary prevention

Sommaire

1. Introduction.....	1
2. Cadre conceptuel	2
2.1 Course à pied	2
2.2 Anatomie de l'articulation fémoro-patellaire	8
2.3 Syndrome fémoro-patellaire.....	11
2.4 Prévention secondaire	15
3. Démarche de problématisation.....	20
4. Méthodologie de recherche	22
4.1 Choix de la méthodologie	22
4.2 Interrogation des bases de données.....	22
4.3 Mots-clés et équations de recherche	22
4.4 Critères d'éligibilité	23
5. Résultats.....	25
5.1 Sélection des études	25
5.2 Caractéristiques principales des études sélectionnées.....	26
5.3 Analyse méthodologique des études.....	33
5.4 Résultats des études	34
6. Discussion	39
6.1 Limites de la revue de littérature.....	39
6.2 Analyse et interprétation des résultats.....	45
6.3 Applicabilité clinique.....	49
6.4 Perspectives	50
7. Conclusion	52

Références bibliographiques

Annexes 1 à 2

1. Introduction

En France, la course à pied est considérée comme l'une des activités sportives les plus pratiquées avec 27% de coureurs recensés parmi la population générale (1). La popularité de ce sport peut s'expliquer par son accessibilité liée notamment au faible coût de l'équipement. Outre cette facilité d'accès, les effets bénéfiques démontrés sur la santé représentent la principale raison d'une pratique régulière (2). Par ailleurs, une extrême majorité des coureurs (90%) déclarent s'entraîner en autonomie sans adhérer à un club sportif ou à une association (2). Ainsi, en raison de son importante prévalence, nous avons sélectionné la population de coureurs récréatifs. De plus, d'un point de vue professionnel, parmi l'ensemble des coureurs, celle-ci représente la patientèle principale rencontrée en cabinet libéral.

Malgré ses bienfaits sur la santé, la course à pied est associée à un taux d'incidence élevé de blessures des membres inférieurs variant de 20 à 80% (3). Par rapport à d'autres activités aérobiques telles que la marche et la natation, la course à pied représente un risque élevé de blessures de surutilisation équivalent à une surcharge des structures musculo-squelettiques (4). Parmi celles-ci, les principales pathologies sont le syndrome fémoro-patellaire (SFP) (17%), la tendinopathie d'Achille (10%) et le syndrome de stress tibial médial (8%) (4). Ainsi, le SFP représente la blessure de surcharge la plus fréquente en course à pied, avec une incidence de 4 à 21% chez les coureurs à pied récréatifs (5). Les pertinences d'un questionnement autour de cette pathologie sont également personnelles, dans la mesure où de nombreux coureurs souffrant de SFP ont été rencontrés au cours de notre formation clinique. Ainsi, afin d'optimiser et d'améliorer cette prise en charge, nous avons souhaité approfondir nos connaissances sur le sujet.

Les blessures en course à pied sont associées à des conséquences non négligeables d'ordre sportif, social et économique (6). Par conséquent, afin de limiter leurs répercussions, la prévention des blessures sportives constitue un enjeu majeur de santé publique. Par ailleurs, le système de santé français actuel tend à évoluer en priorisant le versant préventif sur le curatif (7). Toutefois, lors des consultations masso-kinésithérapiques (MK) en cabinet libéral, les interventions de prévention secondaire prédominent largement sur celles de prévention primaire. En effet, la prise en charge est principalement effectuée une fois les premiers symptômes déclarés. Or, une prise en charge MK précoce du SFP serait en faveur d'un meilleur pronostic au long terme (8). Cela met donc en exergue la pertinence de la prévention secondaire réalisée au tout début d'apparition de la pathologie et visant à faire disparaître les facteurs de risques. Ainsi, dans une perspective de pratique clinique professionnelle, en tant que futur MK, nous nous sommes questionnés sur le rôle du MK dans la prévention secondaire du SFP chez le coureur à pied récréatif.

Suite à une contextualisation du sujet et à travers une démarche de problématisation, la question de recherche suivante a été élaborée : « **Quels sont les moyens d'interventions kinésithérapiques de prévention secondaire du syndrome fémoro-patellaire chez le coureur à pied récréatif et leurs effets sur les paramètres biomécaniques et/ou les critères cliniques (douleur et fonction) ?** ». Afin d'y répondre, une revue systématique de littérature sera réalisée. La méthodologie et les résultats obtenus seront exposés. Enfin, l'analyse et l'interprétation des résultats permettront d'aboutir à différentes perspectives de recherches.

2. Cadre conceptuel

2.1 Course à pied

2.1.1 Epidémiologie

D'après le baromètre national des pratiques sportives 2020, l'univers de la course et de la marche représente les activités les plus pratiquées par les français âgés de plus de 15 ans (42%) (9). Plus précisément, selon une publication du ministère des Sports, en 2017, la part des français pratiquant la course à pied est estimée à 27% (1). Toutefois, cette activité est principalement réalisée en autonomie (91%), sans adhésion à un club sportif ou à une association (2). Effectivement, par rapport à l'ensemble des coureurs recensés, la Fédération Française d'Athlétisme déclare seulement 305 914 licenciés en 2020 (10). La santé constitue la principale raison pour laquelle les personnes s'adonnent à une activité sportive (2). Cela peut notamment s'expliquer par les recommandations élaborées par l'Organisation Mondiale de la Santé sur l'importance de l'activité physique pour la santé (11). En effet, il est démontré qu'une pratique régulière réduit le risque de cardiopathie, de diabète type II et de dépression.

2.1.2 Choix de la population : coureurs à pied récréatifs

A l'heure actuelle, aucune définition par consensus n'existe pour différencier les catégories de coureurs à pied (12,13). Selon une revue systématique, les coureurs récréatifs sont des coureurs non compétitifs ou qui participent à des courses sur route de moins de 10 kilomètres (13). Les coureurs pratiquant en compétition peuvent être divisés en deux catégories selon la discipline pratiquée. La première correspond aux athlètes concourant sur piste d'athlétisme : le sprint (de 50 à 400 mètres), le demi-fond (800 mètres à 3 kilomètres) et le fond (8 à 10 kilomètres). La deuxième correspond aux coureurs participant à des courses hors stade d'athlétisme : courses de cross-country, sur route d'une distance de 10 kilomètres jusqu'au marathon ou à l'ultra-marathon. Les coureurs novices sont, quant à eux, des coureurs n'ayant aucune expérience régulière au cours de l'année précédente (12,13). Ainsi, les définitions proposées sont établies en fonction de l'expérience, de la distance et type de course réalisés lors des compétitions. A noter que les coureurs récréatifs constituent probablement la cohorte la plus importante au sein de la communauté des coureurs à pied (14).

2.1.3 Biomécanique de la course à pied

2.1.3.1 Cycle de course

La course à pied à allure régulière peut être caractérisée par « un cycle de jambes qui se répète à l'identique et qui est défini par l'intervalle de temps et d'espace séparant deux positions successives identiques telles que l'instant de pose d'un pied jusqu'au posé suivant de ce même pied » (15). Le cycle de course à pied est donc décrit par sa longueur et sa durée. Il peut également être séparé en deux foulées symétriques droite et gauche équivalentes au passage de l'appui d'un pied sur l'autre (15). Ainsi, la foulée correspond à la distance mesurée sur le sol entre deux appuis successifs. L'amplitude (longueur) et la fréquence (répétition) peuvent varier selon les vitesses de course et les types morphologiques spécifiques des coureurs (15).

Le cycle de course se décompose en deux phases majeures : la phase d'appui et la phase d'oscillation (fig.1) (16). La phase d'appui débute lors du contact initial du pied au sol et se termine lors du décollage de la pointe de pied. Elle peut être divisée, de façon égale, en une partie d'absorption et une partie de propulsion d'énergie. La phase d'oscillation débute, quant à elle, lors du décollage de la pointe de pied et se termine à la réception initiale du pied au sol (16).

Les cycles de marche et de course diffèrent notamment par la durée de ces deux phases. En effet, contrairement à la marche, le cycle de course présente une phase d'oscillation de plus de 50% réduisant le temps en phase d'appui. Ainsi, la course se distingue particulièrement de la marche par la présence d'une période supplémentaire appelée phase aérienne. Cette dernière correspond à deux périodes réalisées en début et fin de phase d'oscillation, où les pieds n'ont aucun contact avec le sol (17).

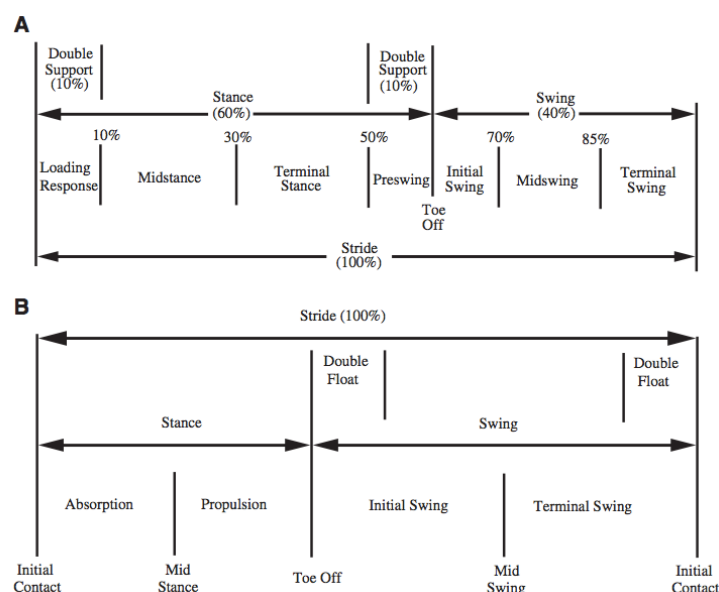


Figure 1 : cycle de marche (A) et cycle de course (B) (Dugan et Bhat, 2005)

2.1.3.2 Activités musculaires des membres inférieurs

La durée et le niveau d'activités des principaux muscles des membres inférieurs issus d'une analyse électromyographique lors de la course sur le plat sont présentés dans la figure 2 (18). De façon générale, les muscles présentent une activité plus importante avant et après le contact initial afin d'optimiser le choc d'impact au sol (17). De plus, certains muscles comme les gastrocnémiens et le vaste latéral ont une activité intense mais brève contrairement au tibial antérieur présentant une activité plus faible mais prolongée. Enfin, en raison de leur double fonction, les muscles poly-articulaires tels que le droit fémoral et le biceps fémoral peuvent, selon la vitesse, s'activer deux fois au cours du cycle de course (18). A l'instar des niveaux d'activités, les modes de contractions musculaires (concentrique, excentrique et isométrique) sont spécifiques aux différentes phases du cycle.

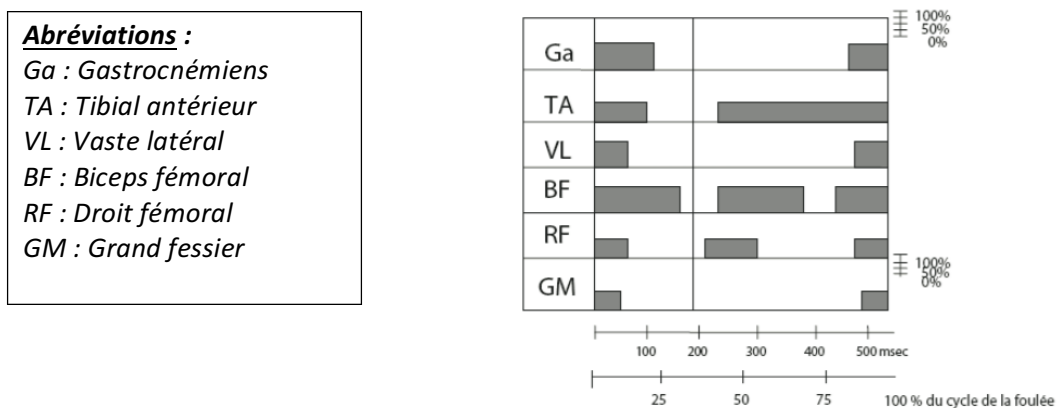


Figure 2 : Durée et niveau d'activités musculaires de la course sur le plat à 15 km/h (Hanon, 2005)

2.1.3.3 Attaque du pied au sol

• Paramètres cinématiques et musculaires

Lors de la course, la réception du pied au sol peut être réalisée selon trois techniques (19) :

- Attaque arrière-pied : contact initial par le talon
- Attaque médio-pied : contact initial par le talon et les métatarses simultanément
- Attaque avant-pied : contact initial par les métatarses

L'attaque arrière-pied est la technique la plus fréquemment utilisée par les coureurs récréatifs (80%), contrairement aux sprinters réalisant majoritairement une attaque avant-pied (20,21). L'attaque talon est associée à une flexion dorsale au contact initial (19). Les releveurs, en particulier le tibial antérieur, seront sollicités en excentrique lors de la descente de l'avant-pied au sol. L'attaque avant-pied, quant à elle, est associée à une flexion plantaire et une plus grande flexion de genou au contact initial (19). Ainsi, lors de la phase d'appui, les fléchisseurs plantaires seront davantage sollicités notamment par une contraction excentrique jusqu'à la phase d'impulsion (22).

- Paramètres cinétiques

La course à pied est associée à la notion « d'équilibre dynamique ». Plus précisément, l'action des différentes forces extérieures agissant sur le coureur telles que son poids et la force de réaction au sol engendrent une succession de déséquilibres maîtrisés (15). Lors de la réception du pied au sol, le coureur perçoit des forces d'impacts équivalentes à une onde de choc qui se propage à travers le corps. A chaque instant, une force de réaction du sol s'oppose à cette force d'action du coureur sur le sol (15). Par ailleurs, ces forces de réactions verticales du sol peuvent s'avérer différentes selon les types d'attaques du pied (fig.3) (20).

L'attaque de type talon en condition pieds nus (a) entraîne l'apparition de deux pics distincts sur la courbe de force de réaction verticale au sol. Le premier, à composante passive, équivaut à un impact transitoire dû au contact du talon sur le sol, créant la propagation d'une onde de choc à travers le corps. Lors des 50 premières millisecondes de l'appui, cet impact entraîne une force de collision abrupte d'environ 1,5 à 3 fois le poids du corps. Le deuxième, à composante active, est lié à la force générée par le poids du corps et le pied sur le sol. Il correspond à l'impulsion du coureur en phase d'appui.

Le port de chaussures lors d'une attaque talon (b) permet une réduction de l'ampleur de l'impact transitoire en amortissant les taux de charge. Ainsi, ces résultats suggèrent que l'équipement peut influencer les données biomécaniques de course.

L'attaque de type avant-pied en condition pieds nus (c) n'entraîne aucun impact transitoire. L'absorption du choc peut notamment être expliquée par l'action excentrique des muscles fléchisseurs plantaires. De plus, les articulations de la cheville et du genou étant plus souples lors de la réception permettent une meilleure atténuation de l'impact. Ainsi, les contraintes exercées sur l'articulation fémoro-patellaire peuvent être diminuées. Cependant, l'augmentation parallèle de la charge en flexion plantaire peut accroître le risque de blessures à la cheville notamment de type tendinopathies d'Achille (19,23).

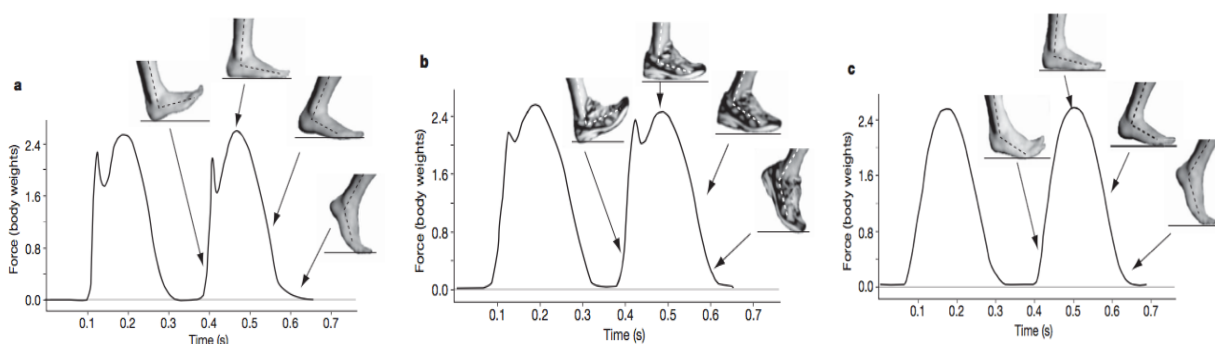


Figure 3 : forces de réaction verticales au sol selon 3 conditions : (a) attaque talon pieds nus, (b) attaque talon en chaussures, (c) attaque avant-pied pieds nus. (Lieberman et al. 2010)

2.1.4 Equipement

En tant que discipline sportive populaire, la course à pied a fait l'objet de nombreuses études et notamment en terme de chaussage. Dans l'objectif d'améliorer les performances sportives et de réduire l'incidence des blessures, les chaussures nécessaires à cette activité ont évolué de façon considérable (24). Deux catégories principales peuvent être distinguées : les chaussures minimalistes et les chaussures maximalistes.

2.1.4.1 Chaussures minimalistes

En 2015, des experts internationaux dans le domaine de la course à pied dont Esculier et Dubois, ont élaboré une définition consensus sur les chaussures minimalistes : « chaussures qui offrent une interférence minimale avec le mouvement naturel du pied grâce à leur grande flexibilité, leur faible drop (différence de hauteur entre le talon et les orteils), leur poids, leur hauteur, et l'absence de dispositifs de contrôle du mouvement et de stabilité » (25).

De plus, les auteurs ont développé un « Indice Minimaliste » fiable et valide afin de déterminer le degré de minimalisme des chaussures (26). Cette évaluation comprend plusieurs critères : le poids, la différence de hauteur entre le talon et les orteils (drop), l'épaisseur de la semelle, les technologies de contrôle du mouvement et de stabilité (contrefort rigide du talon, semelle multi-densité etc...) et la flexibilité (longitudinale et en torsion). Ainsi, une chaussure légère, flexible, peu épaisse, avec un drop au plus proche de 0, et disposant de moindres technologies de stabilité, obtient une note élevée reflétant un degré de minimalisme important.

2.1.4.2 Chaussures maximalistes

En s'appuyant sur « l'Indice Minimaliste », les chaussures maximalistes correspondent à des chaussures plus rigides, avec un drop important, un poids plus élevé, une semelle plus épaisse et davantage de stabilité et contrôle du mouvement (26). Ces différentes caractéristiques d'absorption de l'énergie et d'amorties favorisent les réceptions de type arrière-pied (20).

2.1.5 Blessures en course à pied

2.1.5.1 Définition

En 2015, un groupe d'experts a établi par consensus une définition des blessures liées à la course à pied chez les coureurs récréatifs : « Douleur musculo-squelettique liée à la course (à l'entraînement ou à la compétition) dans les membres inférieurs qui entraîne une restriction ou un arrêt de la course (distance, vitesse, durée ou entraînement) pendant au moins sept jours ou trois séances d'entraînement consécutives prévues, ou qui oblige le coureur à consulter un médecin ou un autre professionnel de santé » (27).

2.1.5.2 Epidémiologie

La course à pied présente de nombreux effets bénéfiques sur la santé, en particulier une amélioration des maladies cardiovasculaires, de la santé mentale et une réduction du risque de diabète (28). Malgré ses bienfaits, la course à pied est également associée à un taux d'incidence élevé de blessures musculo-squelettiques des membres inférieurs variant de 20 à 80% (3). Cette importante variation peut s'expliquer par l'hétérogénéité entre les études notamment sur les types de coureurs suivis et les définitions des blessures musculo-squelettiques liées à la course à pied (29).

2.1.5.3 Etiologies et types de blessures

L'étiologie des blessures en course à pied est d'origine multi-factorielle. Une étude suggère que les blessures résultent de la présence de multiples facteurs de risques associés à un certain volume de course tels que les capacités de charge spécifiques des structures sont dépassées. Ainsi, le développement des blessures serait basé sur une combinaison des facteurs de risques et de la charge cumulée dépassant les capacités maximales d'adaptations du corps lors d'une session de course (30). En effet, par rapport à d'autres activités aérobiques telles que la marche, la natation et le vélo, la course à pied est associée à un risque plus élevé de blessures de surutilisation qualifiées en anglais « overuse injuries » équivalent à une surcharge des structures musculo-squelettiques (4).

La majorité de ces lésions se situe au niveau du genou (28%) et en dessous avec des spécificités suivant le genre. Les femmes sont principalement atteintes au genou à la différence des hommes qui présentent une répartition équilibrée des blessures entre le genou, la jambe et la cheville (4). Toutefois, ces pourcentages peuvent varier suivant les catégories de coureurs. Selon une méta-analyse de Kluitenberg, les blessures au niveau du genou sont les plus fréquentes dans une population de coureurs récréatifs (26%) contrairement aux sprinters compétitifs (1,3 %) (13).

Les pathologies spécifiques liées à la course à pied sont principalement représentées par le syndrome fémoro-patellaire (17%), la tendinopathie d'Achille (10%) et le syndrome de stress tibial médial (8%) (4). Une étude rétrospective sur 2002 coureurs confirme que le syndrome fémoro-patellaire est la pathologie la plus diagnostiquée (31). Celle-ci représente effectivement la blessure de surcharge la plus fréquente en course à pied, avec une incidence annuelle de 4 à 21% chez les coureurs récréatifs (5).

Ainsi, au regard de ce contexte épidémiologique, notre travail de recherche est axé sur le syndrome fémoro-patellaire.

2.1.5.4 Conséquences des blessures

Les blessures en course à pied entraînent généralement une réduction de l'activité de course et nécessitent un long temps de récupération. Selon une étude prospective incluant 254 coureurs novices, le temps moyen de guérison pour l'ensemble des blessures identifiées est d'environ deux mois (32). De plus, les blessures sont couramment mentionnées comme la principale cause d'arrêt de la course à pied (13). Enfin, une étude anglophone a investigué le coût économique des blessures chez les coureurs préparant une course sur un suivi de 18 semaines (6). Une blessure avait une charge économique de 57,97 € due à l'utilisation des soins de santé (coûts directs) et de 115,75 € due à l'absentéisme au travail rémunéré (coûts indirects). A cela s'ajoutent les retentissements personnels et psychologiques liés à la douleur physique ou mentale. Par conséquent, au regard de ces conséquences significatives d'ordre sportif, social et économique, la prévention des blessures sportives constitue un enjeu majeur de santé publique en particulier pour les professionnels de santé (6,33).

2.2 Anatomie de l'articulation fémoro-patellaire

Afin de mieux appréhender le syndrome fémoro-patellaire, il est nécessaire d'aborder certaines notions anatomiques fondamentales. Dans le cas de cette pathologie, la compréhension du complexe du genou et plus spécifiquement de l'articulation fémoro-patellaire est essentielle.

2.2.1 Anatomie descriptive

2.2.1.1 Le genou

Le genou, articulation intermédiaire du membre inférieur, représente la plus grande articulation synoviale du corps (34). Par l'union de trois os, le fémur en proximal, la patella en antérieur et le tibia en distal, il forme un complexe articulaire (35). Ce dernier est composé de l'articulation fémoro-tibiale (bi-condylienne) et de l'articulation fémoro-patellaire (trochléenne ou ginglyme). Ces deux articulations situées dans une poche capsulaire commune sont indissociables tant sur le plan anatomique que fonctionnelle (36).

2.2.1.2 Articulation fémoro-patellaire

La surface articulaire patellaire ou trochlée située à l'extrémité distale et antérieure du fémur s'articule avec la face postérieure de la patella par l'intermédiaire des deux condyles fémoraux recouverts de cartilage hyalin. La patella est un os plat, pair, non symétrique et de forme triangulaire (36). Tout d'abord, le ligament patellaire reliant la patella au tibia, s'insère au niveau de sa pointe distale appelée apex de la patella. De plus, le tendon quadricipital fémoral s'insère sur sa large base proximale. Enfin, sa face postérieure est divisée en deux facettes médiale et latérale séparées par une crête verticale (34). La patella, considérée comme le plus grand os sésamoïde du corps, est intégrée dans l'appareil extenseur antérieur du genou (34).

2.2.2 Anatomie fonctionnelle et biomécanique

L'articulation du genou possède deux degrés de liberté permettant principalement les mouvements de flexion/extension et accessoirement les mouvements de rotation permis uniquement lors d'une flexion. La biomécanique du genou se base sur deux impératifs : une grande stabilité en extension et une grande mobilité en flexion (37). Sur le plan fonctionnel, le rôle principal de la patella est d'augmenter le bras de levier du tendon quadricipital et de représenter une surface anti-friction (35).

2.2.2.1 Mobilité de l'articulation fémoro-patellaire

La mobilité active de cette articulation se réalise dans le plan sagittal, par le parcours linéaire de la patella le long de la gorge de la trochlée. Ce mouvement est orienté soit en distal par la traction du tendon patellaire lors de la flexion, soit en proximal par la traction du tendon quadricipital lors de l'extension de genou. La flexion de genou répond à la notion d'engagement patellaire qui assure un centrage optimal de la patella au cours du mouvement de flexion. Sur le plan fonctionnel, lorsque le genou est en position de rectitude, l'articulation fémoro-patellaire peut s'apparenter à un type surface plane. En effet, la mobilisation passive de la patella peut être réalisée dans tous les sens (35).

2.2.2.2 Stabilité de l'articulation fémoro-patellaire

Le type articulaire ginglyme associe la mobilité sagittale et la stabilité transversale. Cependant, afin de réaliser des mouvements de rotations lors de la flexion du genou sans porter atteinte à l'articulation fémoro-patellaire, cette ginglyme est non-congruente et flottante. Cette particularité peut néanmoins exposer la patella à des déviations latérales difficilement contrôlées. Celles-ci peuvent être accentuées par l'angle fémoro-tibial dirigé vers l'intérieur, appelé valgus physiologique (35). La tendance subluxante latérale de la patella est freinée par des éléments de stabilité osseux, ligamentaires et musculaires. Ces derniers sont notamment représentés par la face latérale patellaire plus large et concave que la face médiale, le rétinaculum patellaire médial plus large et puissant que le latéral et l'action « ressort de rappel » du vaste médial oblique sur la patella (35).

2.2.2.3 Contraintes de l'articulation fémoro-patellaire

La force de réaction de l'articulation fémoro-patellaire est définie comme la force de compression résultante appliquée sur l'articulation, et dépend de l'angle de l'articulation du genou et de la tension musculaire (fig.4) (38).

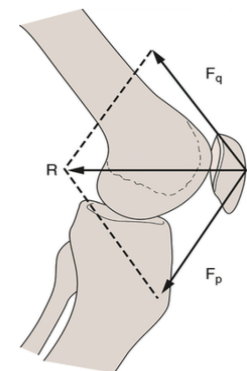


Figure 4 : force de réaction de l'articulation fémoro-patellaire (Loudon, 2016)

La contrainte réelle appliquée sur l'articulation également appelée le stress fémoro-patellaire correspond à la force de réaction divisée par la surface de contact fémoro-patellaire. Plus cette surface de contact est importante, moins le stress exercé sur l'articulation sera conséquent (38).

- Contraintes sagittales

Les surfaces de contacts fémoro-patellaires varient sur toute l'amplitude du mouvement de flexion de façon disto-proximal le long de la patella (fig.5) (38).

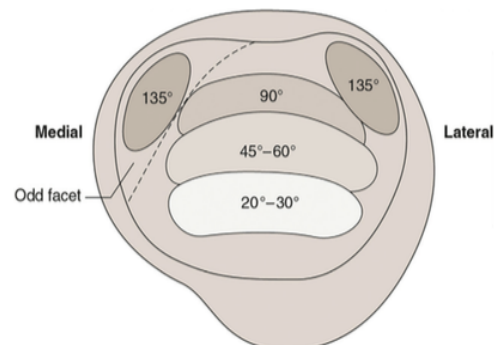


Figure 5 : surface de contact de la patella en fonction de l'angle de flexion (Loudon, 2016)

Lors des premiers degrés de flexion, la patella entre en contact avec le fémur par sa partie distale. Entre 20° et 90° le contact patellaire est équitablement réparti sur les deux condyles fémoraux. La surface de contact augmente avec la flexion et la congruence articulaire. Le contact se situe sur la partie proximale patellaire à 90°, et sur les facettes supéro-médiales et latérales en flexion complète.

En chaîne cinétique ouverte, la zone de contact patellaire qui augmente lors de la flexion du genou permet de répartir les forces articulaires sur une plus grande surface. Par conséquent, la contrainte fémoro-patellaire est moindre lorsque la flexion du genou augmente. (38)

En chaîne cinétique fermée, avec la mise en charge, la contrainte fémoro-patellaire augmente lors de la flexion du genou. En effet, la contraction excentrique du muscle quadriceps fémoral comprend une composante d'impaction de la patella sur le fémur. Ainsi, sous l'influence de la traction de ce muscle, les forces de réactions fémoro-patellaires augmentent lors de la flexion de genou (37). Enfin, des études ont analysé la variation de ces forces de réaction et contraintes fémoro-patellaires selon le type d'activités réalisées. Par rapport à la marche, la course et la réalisation d'une grande flexion de genou présentent d'importantes contraintes avec, respectivement, des forces de compressions de 5,6 et 7,8 fois le poids du corps. Ainsi, ces contraintes excessives pourraient être à l'origine du syndrome fémoro-patellaire. (38)

- Contraintes frontales

Les contraintes sont normalement réparties de façon équitable entre les deux faces de la trochlée fémorale (35). L'appui latéral prédominant est compensé par une plus grande surface latérale. Néanmoins, la tendance subluxante latérale de la patella peut entraîner un syndrome fémoro-patellaire en raison d'une surpression.

2.3 Syndrome fémoro-patellaire

2.3.1 Définition

En 2016, un consensus sur le syndrome fémoro-patellaire a permis de clarifier la terminologie et d'établir une définition. Ainsi, le terme préféré de douleur fémoro-patellaire est synonyme de syndrome fémoro-patellaire, chondromalacie patellaire, douleur antérieure du genou et genou du coureur (39). La définition de cette pathologie requiert un critère essentiel : « une douleur autour ou derrière la patella qui est aggravée par au moins une activité sollicitant l'articulation fémoro-patellaire lors d'une mise en charge sur un genou fléchi, par exemple, s'accroupir, marcher, courir, sauter » (39). Cette dernière peut être complétée par des critères supplémentaires mais non essentiels, tels qu'une crépitation ou sensation de grincement de l'articulation fémoro-patellaire lors de la flexion du genou, une sensibilité à la palpation des facettes patellaires, un léger épanchement, une douleur en position assise.

Les patients présentant des antécédents de luxations ou signalant des perceptions de subluxation, ne doivent pas être inclus dans les recherches sur le syndrome fémoro-patellaire en raison de la nécessité d'approches thérapeutiques différentes (39).

2.3.2 Diagnostic clinique

L'examen clinique est l'élément fondamental pour diagnostiquer le syndrome fémoro-patellaire (39). Cependant, la majorité des tests cliniques utilisés présentent une faible valeur diagnostic (39–41). En effet, le SFP est souvent considéré comme un diagnostic d'exclusion (42,43). Les guidelines du SFP 2019 proposent toutefois avec un grade de recommandation A (fort niveau de preuve) plusieurs tests diagnostic du SFP (8). Ces derniers devraient inclure la reproduction de la douleur rétro-patellaire ou péri-patellaire lors d'un squat ou lors d'autres activités fonctionnelles qui sollicitent l'articulation fémoro-patellaire en flexion (montée/descente d'escaliers).

2.3.3 Epidémiologie

Le syndrome fémoro-patellaire est considéré comme l'une des formes les plus fréquentes de douleur au genou, avec une prévalence annuelle de 23% dans la population générale (44). Plus précisément, les femmes sont deux fois plus à risque de développer un SFP que les hommes (8,44). De plus, les adolescents ainsi que les personnes avec un niveau intense d'activités physiques telles que les athlètes de haut niveau et les militaires sont particulièrement affectés par cette pathologie musculo-squelettique (44). Enfin, comme décrit précédemment, le syndrome fémoro-patellaire représente la blessure de surcharge la plus fréquente en course à pied (4,31), en particulier chez les coureurs récréatifs (5).

2.3.4 Classifications

Le guide des recommandations du SFP pour la pratique clinique propose, sur avis d'experts, une classification composée de quatre sous-catégories en fonction des déficiences prédominantes chez les personnes souffrant de SFP (8) :

- ***Surutilisation/surcharge sans autre déficience*** : l'interrogatoire du patient suggère une augmentation du volume et/ou de la fréquence de ses activités engendrant une surcharge de l'articulation fémoro-patellaire qui dépasse les capacités régénératrices des tissus.
- ***Déficits de force musculaire*** : le patient présente des déficits de force musculaire des membres inférieurs notamment les muscles de la hanche et le quadriceps.
- ***Déficits de coordination des mouvements (contrôle moteur)*** : le patient répond favorablement aux interventions de rééducation de la marche et du mouvement, entraînant une amélioration de la cinématique et de la douleur des membres inférieurs. Cela suggère l'importance de l'évaluation du valgus dynamique du genou lors du bilan initial. A noter que le patient ne présentera pas nécessairement de déficits musculaires.
- ***Déficiences de mobilité*** : le patient présente une hyper-mobilité du pied ou une hypo-extensibilité des ischio-jambiers, quadriceps, gastrocnémiens, soléaires, bande ilio-tibiale.

2.3.5 Etiologie et facteurs de risque du SFP en course à pied

A l'heure actuelle, l'étiologie du SFP reste incertaine et considérée comme multifactorielle (8). Elle résulte d'une interaction complexe entre divers facteurs anatomiques, biomécaniques, psychologiques, sociales et comportementales. Lors d'un consensus international sur la recherche du syndrome fémoro-patellaire, le Dr Christopher Powers a présenté un modèle pathomécanique basé sur l'hypothèse que cette pathologie est associée à un stress fémoro-patellaire élevé (45). Divers facteurs de risques peuvent contribuer à l'augmentation de ces contraintes. En s'appuyant sur les preuves actuelles de la littérature scientifique, les différents facteurs de risques intrinsèques et extrinsèques du SFP spécifiques à la course à pied seront exposés ci-dessous.

2.3.5.1 Facteurs de risques intrinsèques

Les facteurs de risques intrinsèques correspondent aux caractéristiques personnelles des coureurs. L'identification de ces facteurs a fait l'objet de plusieurs recherches scientifiques. Cependant, les preuves restent limitées et doivent être confirmées par des études prospectives de haute qualité.

- Facteurs cinématiques

Tout d'abord, des facteurs de risques cinématiques proximaux ont été décrits. Des preuves modérées issues d'études rétrospectives ont mis en évidence une association entre le SFP et l'augmentation du pic d'adduction de hanche, du pic de rotation interne et du pic de chute pelvienne controlatérale. Des preuves prospectives limitées indiquent que, parmi ces facteurs, seule l'augmentation du pic de hanche pourrait être prédictive du développement du SFP (28). De plus, des facteurs de risques cinématiques distaux ont été étudiés. Des preuves modérées rétrospectives n'ont pas identifié de corrélation entre le SFP et le pic d'éversion de l'arrière-pied (28). Cela est confirmé par des preuves limitées prospectives qui n'indiquent aucune différence significative du pic d'éversion de l'arrière-pied chez les coureuses récréatives développant un SFP (46).

Une étude a identifié, chez les coureurs atteints de SFP, un genou en extension et une cheville en flexion dorsale lors du contact initial au sol ainsi qu'un pic de chute pelvienne controlatérale plus important à la moitié de la phase d'appui (47). Cependant, cette étude étant rétrospective, il n'est pas possible de conclure sur la relation de causalité des résultats.

Enfin, une réduction de la variabilité de coordination des articulations des membres inférieurs pendant la course semble être associée aux lésions de surcharges telles que le SFP (48,49). Cependant, en raison des preuves limitées, de futures recherches sont nécessaires (28).

- Facteurs cinétiques

Des preuves limitées ont identifié une augmentation significative des forces de réaction fémoro-patellaire spécifiques à la face latérale de la patella pendant la course (28). De plus, la rotation interne de hanche contribue significativement à l'augmentation des contraintes fémoro-patellaires (50).

Des preuves limitées attestent que, lors du contact initial du pied au sol, une force verticale maximale plus importante sous les 2^{ème} et 3^{ème} métatarsiens ainsi qu'une réduction du temps pour atteindre le pic de force plantaire verticale sous le côté latéral du talon seraient considérées comme des facteurs de risque du SFP lors de la course (28). Ces forces élevées prédominant sous le côté latéral du pied pourraient indiquer une réduction de la pronation (51,52). Ainsi, l'atténuation des chocs d'impacts pendant la phase d'appui serait réduite, avec un transfert potentiel des forces de réactions au sol vers les structures proximales telles que l'articulation fémoro-patellaire (28). Une revue systématique de Dowling et al. confirme ces résultats, en concluant avec des preuves limitées que la fonction dynamique du pied pendant la course est un facteur de risque de douleur fémoro-patellaire (53).

- *Facteurs neuro-musculaires*

Des analyses électromyographiques ont constaté une activation plus courte et plus tardive du muscle moyen fessier avant le contact du pied au sol, chez les coureurs atteints de SFP (28). Aucune différence significative n'a été identifiée pour le muscle grand fessier. De plus, une étude prospective indique qu'un niveau élevé de force maximale d'abduction de hanche en excentrique peut réduire le risque de SFP chez les coureurs (54). Ainsi, le déficit de force d'activation en particulier du muscle moyen fessier pourrait en partie expliquer les modifications cinématiques identifiées (55).

Enfin, des preuves limitées n'indiquent aucune différence significative de l'activité du muscle vaste médial entre les sujets atteints ou non du SFP (28).

- *Facteurs spatio-temporels*

Les paramètres spatio-temporels décrivent la technique de course en termes de variables temporelles et spatiales. La vitesse, la distance de course, ainsi que les caractéristiques de la foulée telles que la largeur, la longueur des pas et la cadence de course, sont des exemples.

Des études sur des coureurs asymptomatiques ont montré une association entre les paramètres spatio-temporels et les facteurs de risques biomécaniques de blessure (56). Plus précisément, une largeur de pas réduite et une cadence plus faible pendant la course ont augmenté l'angle d'adduction maximal de la hanche qui est facteur de risque cinématique identifié du SFP (57). Cependant, une revue systématique basée sur des études rétrospectives, n'a révélé aucune différence significative sur les paramètres spatio-temporels entre les coureurs blessés ou non (57). Des études prospectives supplémentaires sont indispensables pour déterminer le rôle de ces paramètres dans le développement des blessures de surcharge et notamment du SFP.

2.3.5.2 Facteurs de risques extrinsèques

Les facteurs de risques extrinsèques sont liés à l'environnement du coureur. En effet, l'augmentation des contraintes exercées sur l'articulation fémoro-patellaire peut être également attribuable à des facteurs externes tels qu'une surutilisation/surcharge, une technique de course non optimale ou des chaussures inadaptées (58). Les spécificités d'entraînements telles que la fréquence, l'intensité et le volume de course peuvent induire une surcharge dépassant les capacités d'adaptations maximales du corps. Cette surutilisation est principalement identifiée dans les études portant sur les coureurs novices. Le risque de blessures au genou, en particulier le développement d'un SFP, était élevé lors du début de la pratique sportive. De plus, ce risque de blessure était considérable lors des augmentations importantes des volumes d'entraînements (58).

2.4 Prévention secondaire

2.4.1 Définition

En 1948, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) définit la prévention comme « l'ensemble des mesures visant à éviter ou réduire le nombre et la gravité des maladies, des accidents et des handicaps » (59). Trois types de préventions correspondant aux états successifs de la pathologie sont distingués (59) :

- **la prévention primaire** vise à « diminuer l'incidence d'une maladie dans une population et ainsi de réduire les risques d'apparition de nouveaux cas ».
- **la prévention secondaire** vise à « diminuer la prévalence d'une maladie dans une population. Elle recouvre les actes destinés à agir au tout début de l'apparition de la pathologie afin de s'opposer à son évolution ou de faire disparaître les facteurs de risques ».
- **la prévention tertiaire** vise à « diminuer la prévalence des incapacités chroniques ou récidives dans une population et de réduire les complications, invalidités ou rechutes consécutives à la maladie ».

2.4.2 Modèles de prévention des blessures sportives

Afin de réaliser des actions de prévention des blessures sportives, une méthodologie de recherche scientifique et clinique a été élaborée par Van Mechelen et al. Ce modèle intitulé « séquence de prévention » est composé de quatre étapes distinctes (fig.6) (60).

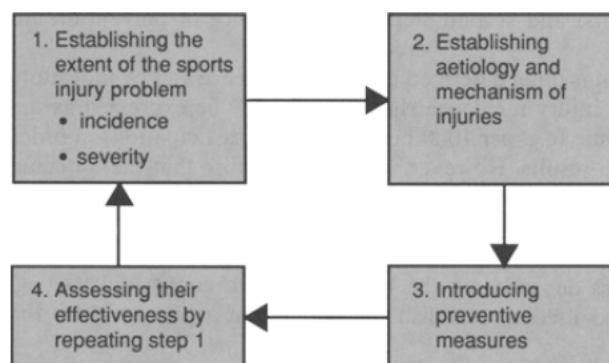


Figure 6 : séquence de prévention (Van Mechelen et al. 1992)

- *La première étape* vise à déterminer l'étendue du problème des blessures sportives par l'intermédiaire d'études épidémiologiques déterminant l'incidence, la sévérité et les caractéristiques des pathologies.
- *La deuxième étape* vise à identifier les mécanismes lésionnels et les facteurs de risques (intrinsèques et extrinsèques) intervenant dans l'apparition des blessures sportives.

- *La troisième étape* vise à développer des mesures de prévention susceptibles de réduire le risque et/ou la sévérité des blessures. Ces mesures doivent être basées sur les facteurs étiologiques et les mécanismes lésionnels identifiés lors de la deuxième étape.
- *La quatrième étape* vise à évaluer l'efficacité des mesures et/ou stratégies de prévention. Cette évaluation peut être réalisée par des études épidémiologiques en répétant la première étape ou par la conception d'essais contrôlés randomisés.

Par la suite, en 2006, Finch C. a complété ce modèle par l'ajout de deux étapes supplémentaires afin de faciliter la transposition des recherches de prévention dans la pratique réelle. Ce nouveau modèle est appelé « Translating Research into Injury Prevention Practice » ou modèle TRIPP (61). Ce dernier souligne notamment l'importance du contexte environnemental et comportemental dans lequel ces mesures préventives sont appliquées.

Dans le cadre de notre travail, la deuxième étape du modèle TRIPP a été réalisée préalablement par une identification des facteurs de risques spécifiques du SFP en course à pied. Ainsi, en se basant sur ces facteurs étiologiques, notre recherche s'intéressera à la troisième étape correspondant aux mesures de préventions secondaires.

2.4.3 Domaines d'interventions du masseur-kinésithérapeute

Le système de santé actuel permet aux Français de bénéficier d'une des meilleures espérances de vie au monde. Cependant, celui-ci présente également des points à améliorer notamment dans le domaine de la prévention. En effet, un des axes majeurs de la stratégie nationale de santé est de prioriser la prévention sur le curatif en agissant sur les déterminants de santé. Cette volonté de promouvoir le versant préventif par le gouvernement est un véritable enjeu de santé publique.(7)

Le rôle préventif du MK est décrit dans l'article L4321-1 du code de la santé publique « La pratique de la masso-kinésithérapie comporte la promotion de la santé, la prévention, le diagnostic kinésithérapeute et le traitement des troubles du mouvement ou de la motricité de la personne, des déficiences ou altérations des capacités fonctionnelles » (62). L'arrêté du 2 septembre 2015 relatif au diplôme d'État de MK permet de référencer les différents champs d'activités spécifiques du MK (63). Celles-ci comprennent notamment la « prévention et dépistage, conseil, éducation thérapeutique et santé publique ». En effet, le MK est habilité à réaliser des actions de prévention primaire et secondaire dans un cadre individuel ou collectif. Afin d'y parvenir, le MK peut informer et conseiller les personnes en individuel et en groupe sur le dépistage de déficiences, de limitations fonctionnelles et des facteurs de risques en santé. Il peut également dépister et analyser des situations susceptibles d'entraîner des dysfonctions et des déficiences chez la personne (63).

2.4.4 Pertinences d'actions de prévention secondaire spécifiques au SFP

Chez les patients atteints de SFP, une durée des symptômes plus longue et une intensité de la douleur plus élevée représentent des facteurs prédictifs d'un mauvais pronostic sur le long terme (64). En effet, le SFP est associé à un taux de chronicité élevé, avec une douleur persistante chez environ 50% des personnes. Ces symptômes limitent la participation aux tâches quotidiennes et professionnelles et réduisent les niveaux d'activités physiques et sportives (65). De plus, en l'absence de traitement, certaines études suggèrent que le SFP pourrait être le précurseur d'une destruction du cartilage appelée arthrose fémoro-patellaire. Bien que les preuves soient insuffisantes pour affirmer cette relation de causalité, une corrélation entre les deux semble exister (8). Par conséquent, une prise en charge masso-kinésithérapique précoce serait en faveur d'un meilleur pronostic au long terme. Cela met en exergue la pertinence d'une intervention de prévention secondaire réalisée au tout début d'apparition de la pathologie et visant à faire disparaître les facteurs de risques.

2.4.5 Moyens d'interventions de prévention secondaire du SFP en course à pied

La pertinence des actions de prévention de secondaire ainsi que la légitimité du MK à les réaliser, nous amènent à effectuer une exploration de la littérature scientifique sur les moyens de prévention secondaire spécifiques au SFP chez le coureur à pied.

A l'heure actuelle, une des principales références sur la pathologie du syndrome fémoro-patellaire est le guide de recommandations pour la pratique clinique du SFP élaboré en 2019 par des experts internationaux nommés par « l'Academy of Orthopaedic Physical Therapy (APTA) » et publié dans le « Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy (JOSPT) » (8). Parmi la littérature scientifique de synthèse spécifique au SFP, cette publication détient le plus haut niveau de preuve avec plus de 300 références datant de 1960 à mai 2018. Malgré plusieurs moyens d'interventions recommandés dans ce guide, aucun n'est explicitement qualifié de « prévention secondaire ». Néanmoins, selon la définition de l'OMS énoncée précédemment (59), certains d'entre eux semblent s'y apparenter. En effet, ces derniers présentés ci-dessous, pourraient correspondre au traitement étiologique du SFP en agissant sur les facteurs de risques identifiés à un stade précoce de la pathologie.

2.4.5.1 Renforcement musculaire des membres inférieurs

Une recommandation de grade A fondée sur des études de haut niveau de preuve scientifique est attribuée au renforcement musculaire afin de réduire la douleur et d'améliorer les capacités fonctionnelles à court, moyen et long terme, chez les patients souffrant de SFP. Les exercices doivent cibler les muscles postéro-latéraux de la hanche et les muscles agissant sur le genou. Afin d'optimiser les résultats, les exercices combinant ces deux modalités sont à privilégier par rapport aux exercices ciblant uniquement le genou (8).

Cependant, les auteurs soulignent un manque de littérature sur le dosage optimal des exercices et sur les populations spécialisées en particulier les adolescents et les athlètes. Plus spécifiquement aux coureurs à pied, un nombre restreint d'études a analysé les modalités du renforcement musculaire sur ce type de population.

2.4.5.2 Modification du schéma de course « running gait retraining »

Une recommandation de grade C fondée sur des études de faible niveau de preuve scientifique est attribuée à la modification du schéma de course qualifiée en anglais de « running gait retraining » (8). Cette recommandation a été élaborée principalement sur une population de coureurs récréatifs, sur la base d'ECR et séries de cas résumés ci-dessous.

Tout d'abord, un ECR de qualité modérée, incluant 16 coureurs, a étudié la **modification du schéma d'attaque du pied au sol** de l'arrière-pied **vers l'avant-pied**. Le groupe expérimental a réalisé 8 séances de rééducation sur 2 semaines. Le groupe contrôle, quant à lui, a effectué des séances de courses sans intervention. En post-intervention et à un mois de suivi, l'analyse des paramètres biomécaniques et cliniques a révélé des améliorations significatives en faveur du groupe expérimental. Plus précisément, lors du contact initial au sol, une augmentation de la flexion de genou, une diminution de l'adduction de genou et une augmentation de la flexion plantaire ont été constatées. De plus, les participants ayant adopté une attaque avant-pied présentent une réduction cliniquement significative de la douleur, par rapport au groupe contrôle. Ainsi, les auteurs suggèrent que ce type de rééducation de course pourrait être une intervention envisagée dans le traitement du SFP chez les coureurs récréatifs (66).

De plus, un ECR de qualité modérée, incluant 16 coureurs, a comparé une rééducation de la course composée de 10 séances sur 6 semaines consistant en une **augmentation de la cadence de 10%** associée à l'utilisation de **chaussures minimalistes**, par rapport à l'utilisation de semelles plantaires. Lors du suivi à 12 semaines, les résultats ont révélé des améliorations statistiquement et cliniquement significatives de l'intensité de douleur en faveur du protocole de rééducation de la course (67).

Enfin, une revue systématique (28) incluant notamment deux séries de cas de qualité moyenne indique qu'une rééducation du schéma de course basée sur une **diminution de l'adduction de hanche**, soit par un feedback en temps réel (68), soit par un miroir (69), permet d'améliorer significativement les paramètres biomécaniques et cliniques lors d'un suivi à court terme. Plus précisément, cette modification du schéma de course révèle une réduction significative de l'adduction de hanche, de la chute pelvienne controlatérale, ainsi qu'une amélioration significative de l'intensité de la douleur et de la fonction, par rapport à l'état initial, lors d'un suivi à un mois (68) et trois mois (69).

En s'appuyant sur les résultats de ces études, les auteurs ont formulé la recommandation suivante : les cliniciens peuvent utiliser une rééducation du schéma de course réalisée sur plusieurs séances, pour adopter une attaque avant-pied, pour augmenter la cadence ou pour réduire l'adduction maximale de hanche lors de la course. Cependant, en raison des preuves limitées (grade C), les auteurs préconisent la réalisation de futures recherches afin de confirmer son efficacité et de déterminer les paramètres optimaux des séances (8).

2.4.5.3 Education spécifique du patient

Une recommandation de grade F basée sur l'avis d'experts est attribuée à l'éducation du patient. Les cliniciens peuvent inclure une éducation spécifique du patient notamment sur la gestion des charges relatives à l'excès de contraintes fémoro-patellaires (8).

Un ECR d'Esculier et al. a comparé l'effet de 3 programmes de rééducation de 8 semaines sur les symptômes et les limitations fonctionnelles des coureurs récréatifs souffrant de SFP (70) :

- *Le premier groupe* recevait uniquement une **éducation sur la gestion des symptômes** (ne pas dépasser une intensité de douleur de 2/10 évaluée sur l'échelle visuelle analogique pendant la course) et **sur les modifications de l'entraînement** (augmenter la fréquence des entraînements hebdomadaires, diminuer la vitesse et la durée des sessions, éviter les descentes et les escaliers).
- *Le second groupe* recevait également cette **éducation** mais accompagnée d'un **programme d'exercice**. Les coureurs devaient réaliser des exercices de renforcement musculaire 3 fois par semaine (maximum 20 minutes par session) et un exercice de contrôle dynamique des membres inférieurs quotidiennement.
- *Le troisième groupe* recevait également l'**éducation** mais accompagnée d'une **rééducation du schéma de course**. Les coureurs devaient principalement augmenter la cadence de pas de 7,5 à 10%. Si le physiothérapeute l'estimait nécessaire, les coureurs devaient « courir avec un minimum de bruit » et adopter un schéma d'attaque non arrière-pied au sol.

Lors du suivi à 5 mois, l'analyse révèle que les exercices ou la rééducation du schéma de course n'apportent aucun bénéfice supplémentaire sur la réduction des symptômes par rapport à l'éducation seule. A travers ces résultats, les auteurs concluent que l'éducation spécifique du patient devrait être incluse comme composante principale du traitement. Cependant, en raison du nombre limité et de la faible qualité des preuves, des recherches supplémentaires sont indispensables pour confirmer et valider son efficacité (8).

3. Démarche de problématisation

Le syndrome fémoro-patellaire représente la blessure de surcharge la plus courante en course à pied, avec une incidence annuelle allant de 4 à 21 % chez les coureurs à pied récréatifs (5). Cette population a notamment été sélectionnée dans ce travail car, parmi l'ensemble des coureurs, elle représente la patientèle principale rencontrée au sein d'un cabinet libéral.

Les blessures en course à pied sont associées à des conséquences significatives d'ordre sportif, social et économique. Afin de limiter leurs répercussions, la prévention constitue donc un enjeu majeur en particulier pour les professionnels de santé (6,33). Par ailleurs, le système de santé actuel tend à évoluer en priorisant le versant préventif sur le curatif (7). Cet enjeu relève d'une priorité de santé publique par le gouvernement. A ce jour, lors des consultations masso-kinésithérapiques en cabinet libéral, les interventions de prévention secondaire prédominent largement sur celles de prévention primaire. En effet, la prise en charge est principalement effectuée une fois les premiers symptômes déclarés. Selon les recommandations 2019 du SFP, une prise en charge masso-kinésithérapique précoce en tout début d'apparition du SFP permettrait une meilleure récupération ainsi qu'une diminution des conséquences sur le long terme (8). Cela met donc en exergue la pertinence d'une intervention de prévention secondaire visant à faire disparaître les facteurs de risques et diminuant ainsi la prévalence de ce syndrome dans la population. De plus, le MK, de par ses compétences, est habilité à une prise en charge préventive : « le MK est habilité à réaliser des actions de prévention primaire et secondaire dans un cadre individuel ou collectif »(63) .

Ainsi, dans une perspective de pratique clinique professionnelle, en tant que futur MK, nous nous sommes questionnés sur le rôle du MK dans la prévention secondaire du SFP chez le coureur à pied récréatif.

Au regard de la littérature scientifique, l'étiologie du SFP en course à pied reste controversée et est considérée comme multifactorielle. Toutefois, malgré une identification encore complexe de ces facteurs de risques, plusieurs moyens d'interventions kinésithérapiques recommandés par le guide de recommandations du SFP de 2019 pourraient notamment s'appliquer à la définition de l'OMS sur la prévention secondaire.

Or, ces guidelines 2019 font ressortir un **manque de littérature scientifique** sur les modalités d'interventions du SFP spécifiques à la course à pied (8).

En effet, malgré une recommandation de grade A fondée sur des études de fort niveau de preuve scientifique **sur le renforcement musculaire**, les paramètres de dosage des exercices restent actuellement incertains, notamment chez les coureurs à pied récréatifs.

Ces derniers ont toutefois fait l'objet de recherches sur le « **running gait retraining** ». Ce type d'intervention est associé à une recommandation de grade C fondée sur des études de faible niveau de preuve scientifique. En effet, les preuves d'une rééducation du schéma de course consistant en une foulée avant-pied, une augmentation de la cadence ou une réduction de l'adduction maximale de la hanche pendant la course sont désormais avancées mais restent à confirmer. Enfin, **l'éducation spécifique** des patients souffrant de SFP sur la gestion des charges relatives à l'excès de contraintes fémoro-patellaire est recommandée sur la base d'avis d'experts internationaux (grade F). Plus précisément chez les coureurs à pied récréatifs, un ECR d'Esculier et al. conclut qu'une éducation appropriée sur les symptômes et la gestion des charges d'entraînements devrait être incluse comme composante principale du traitement (70). Néanmoins, à l'heure actuelle, en raison du peu et de la faible qualité des preuves disponibles, son efficacité reste encore à déterminer.

Ainsi, dans l'objectif de combler ce manque de littérature, les auteurs de ces guidelines 2019 préconisent la réalisation de futures recherches. Par conséquent, il serait pertinent d'effectuer une exploration de la littérature scientifique après mai 2018, date limite d'inclusion des références des guidelines 2019, afin de recenser de nouvelles études portant sur notre thématique d'intérêt. Cette recherche permettrait alors de compléter et d'actualiser les recommandations existantes en apportant d'éventuelles preuves scientifiques supplémentaires.

L'ensemble des données de ce raisonnement déductif nous permet de formuler la problématique suivante : **Comment le MK peut-il prévenir de façon secondaire le syndrome fémoro-patellaire chez le coureur à pied récréatif, compte tenu d'une étiologie controversée et multifactorielle ?**

Nous avons ensuite utilisé **le modèle PICO**, afin d'établir notre question de recherche :

- Population : Coureurs récréatifs atteints du SFP
- Intervention : Interventions kinésithérapiques de prévention secondaire du SFP
- Comparaison : Groupe contrôle (placebo, absence ou intervention alternative)
- Outcome (critères de jugement) : Amélioration des paramètres biomécaniques (des membres inférieurs) et/ou des critères cliniques (douleur et fonction)

L'élaboration de ce modèle nous a conduit à formuler la question de recherche suivante :

Quels sont les moyens d'interventions kinésithérapiques de prévention secondaire du syndrome fémoro-patellaire chez le coureur à pied récréatif et leurs effets sur les paramètres biomécaniques et/ou les critères cliniques (douleur et fonction) ?

4. Méthodologie de recherche

4.1 Choix de la méthodologie

Comme expliqué précédemment, il serait pertinent d'effectuer une exploration de la littérature scientifique afin d'enrichir et d'actualiser les recommandations existantes sur les interventions de prévention secondaire du SFP chez le coureur à pied récréatif. Par conséquent, dans l'objectif de répondre à notre question de recherche de façon rigoureuse, la réalisation d'une revue systématique de la littérature est le choix le plus approprié.

4.2 Interrogation des bases de données

Une recherche de la littérature internationale a été effectuée en février 2021 par l'intermédiaire de trois bases de données informatiques :

- **PubMed** : principale base de données bibliographiques spécialisées dans les domaines de la biologie et de la médecine
- **Science Direct** : base de données exploitant les publications scientifiques notamment en sciences de la santé, de l'éditeur Elsevier Masson
- **PEDro** : base de données bibliographiques spécialisées dans le domaine de la kinésithérapie/physiothérapie

4.3 Mots-clés et équations de recherche

Dans un premier temps, afin de formuler des équations de recherche adaptées et pertinentes lors de l'interrogation des bases de données, nous avons défini une liste de mots clés francophones et anglophones (Tableau I).

Tableau I : Mots clés francophones et anglophones

Français	Anglais
syndrome fémoro-patellaire, douleur fémoro-patellaire, douleur antérieur de genou	patellofemoral pain syndrome, patellofemoral pain, anterior knee pain
course à pied, coureurs à pied	running, runners
prévention secondaire, traitement, rééducation	secondary prevention, treatment, rehabilitation

A l'issue de cela, nous avons établi les équations de recherche en fonction de la spécificité des moteurs de recherche. Différentes actions ont permis d'affiner nos recherches afin de limiter le bruit et le silence documentaire. D'une part, nous avons associé les mots-clés avec des opérateurs booléens tels que « AND » et « OR » dans les bases de données PubMed et Science Direct. D'autre part, nous avons utilisé le module de recherche avancée de PEDro permettant de cibler différentes catégories de recherches.

Le tableau II, ci-dessous, présente les équations de recherche utilisées ainsi que les résultats obtenus en fonction des bases de données.

Tableau II : Equations de recherche et résultats par bases de données

Bases de données	Equations de recherche	Résultats
PubMed	("patellofemoral pain syndrome"OR "patellofemoral pain"OR"anterior knee pain") AND ("secondary prevention"OR"treatment"OR"rehabilitation") AND ("running"OR"runners")	n = 156
Science Direct	Title, abstract or author-specified keyword : ("patellofemoral pain syndrome"OR "patellofemoral pain"OR"anterior knee pain") AND ("secondary prevention"OR"treatment"OR"rehabilitation") AND ("running"OR"runners")	n = 39
PEDro	Abstract & Title : Patellofemoral pain treatment running Body Part : lower leg or knee Subdiscipline : musculoskeletal Match all search terms (AND)	n = 9

4.4 Critères d'éligibilité

Afin de préciser le processus de sélection d'articles de notre revue de littérature, nous avons défini plusieurs critères d'inclusion et d'exclusion, présentés dans le tableau III.

Tableau III : Critères d'inclusion et d'exclusion

Critères d'inclusion	Critères d'exclusion
Design de l'étude : • Publiée à partir de juin 2018 • Littérature française/anglaise • Publiée en intégralité Participants : • Coureurs récréatifs atteints du SFP • Féminins et/ou masculins • Adultes (> 18 ans) Intervention : • Interventions kinésithérapiques de prévention secondaire spécifiques SFP Outcome (critères de jugement) : • Paramètres biomécaniques • Critères cliniques	Design de l'étude : • Publiée avant juin 2018 • Littérature autre que française/anglaise • De type avis d'experts Participants : • Antécédents traumatiques ou chirurgicaux des membres inférieurs, instabilité fémoro-patellaire, autres pathologies du genou • Coureurs compétitifs, professionnels, militaires • Enfants et adolescents

- ***Design de l'étude***

Le guide des recommandations pour la pratique clinique du SFP 2019 inclut des références datant de 1960 à mai 2018 (8). Ainsi, dans l'objectif de sélectionner des références supplémentaires, seules les études publiées à partir de juin 2018 ont été incluses. Par la suite, seules les publications issues de la littérature francophone ou anglophone ont été incluses afin d'assurer leurs compréhensions et interprétations complètes. La langue anglaise a également été sélectionnée en raison de sa large prédominance dans le domaine des recherches scientifiques internationales. Enfin, dans une intention de fiabilité et validité scientifique, les études de type avis d'experts représentant le plus faible niveau de preuve ont été exclus (71). Les études devaient être publiées en intégralité afin de pouvoir procéder à une évaluation de la qualité méthodologique.

- ***Participants***

La population sélectionnée est celle des coureurs à pied récréatifs. D'une part, cette catégorie est principalement touchée par le SFP avec une incidence de 4 à 21% (5). D'autre part, parmi l'ensemble des coureurs, elle constitue la cohorte la plus importante (14) et représente la patientèle principale rencontrée au sein d'un cabinet libéral. Ainsi, les coureurs compétitifs, professionnels et les militaires ont été exclus. Les études devaient inclure des participants atteints du syndrome fémoro-patellaire. Afin d'améliorer l'exhaustivité de notre recherche, les synonymes définis par la conférence de consensus de 2016 tels que la douleur fémoro-patellaire et la douleur antérieure du genou ont été introduits dans les équations de recherches (39). Par ailleurs, afin de limiter les biais sur l'origine de la douleur, les sujets présentant des antécédents traumatiques ou chirurgicaux des membres inférieurs, une instabilité patellaire ainsi que d'autres pathologies du genou, ont été exclus. Enfin, nous avons décidé d'inclure uniquement une population adulte (> 18 ans) en excluant les enfants et adolescents. Ces derniers particulièrement touchés par le SFP peuvent présenter des facteurs de risques spécifiques induisant une variabilité de la réponse aux interventions.

- ***Intervention***

Les interventions kinésithérapiques étudiées devaient être spécifiques à la prévention secondaire du SFP, conformément à la définition établie par l'OMS (59). Plus précisément, les interventions devaient correspondre au traitement étiologique du SFP en agissant sur les facteurs de risques identifiés au stade précoce de la pathologie.

- ***Outcome (critères de jugement)***

Afin de répondre à notre question de recherche, les critères de jugement des études devaient être décrits. Seules les études évaluant l'efficacité des interventions de prévention secondaire du SFP sur les paramètres biomécaniques et/ou sur les critères cliniques ont été incluses.

5. Résultats

5.1 Sélection des études

La recherche systématique dans les bases de données PubMed, PEDro et Science Direct, réalisée en février 2021, à l'aide des équations de recherches citées précédemment, a fait émerger 204 références. Lors de la phase de sélection, nous éliminons dans un premier temps, les références dont la date de publication est antérieure à juin 2018 (n=144) et celles présentes en doublon (n=11). Dans un second temps, après lecture du titre et résumé, nous excluons 39 références selon les critères d'exclusions (Tableau III). Ainsi, lors de la phase d'éligibilité nous retenons 10 articles pour une lecture intégrale. A la suite de cette lecture complète, 6 articles ont été exclus en fonction des critères d'éligibilité. Enfin, lors de la phase d'inclusion, nous retenons 4 études pour la revue de la littérature. La démarche de sélection des publications est illustrée ci-dessous par un diagramme de flux, selon le modèle PRISMA (fig.7) (72).

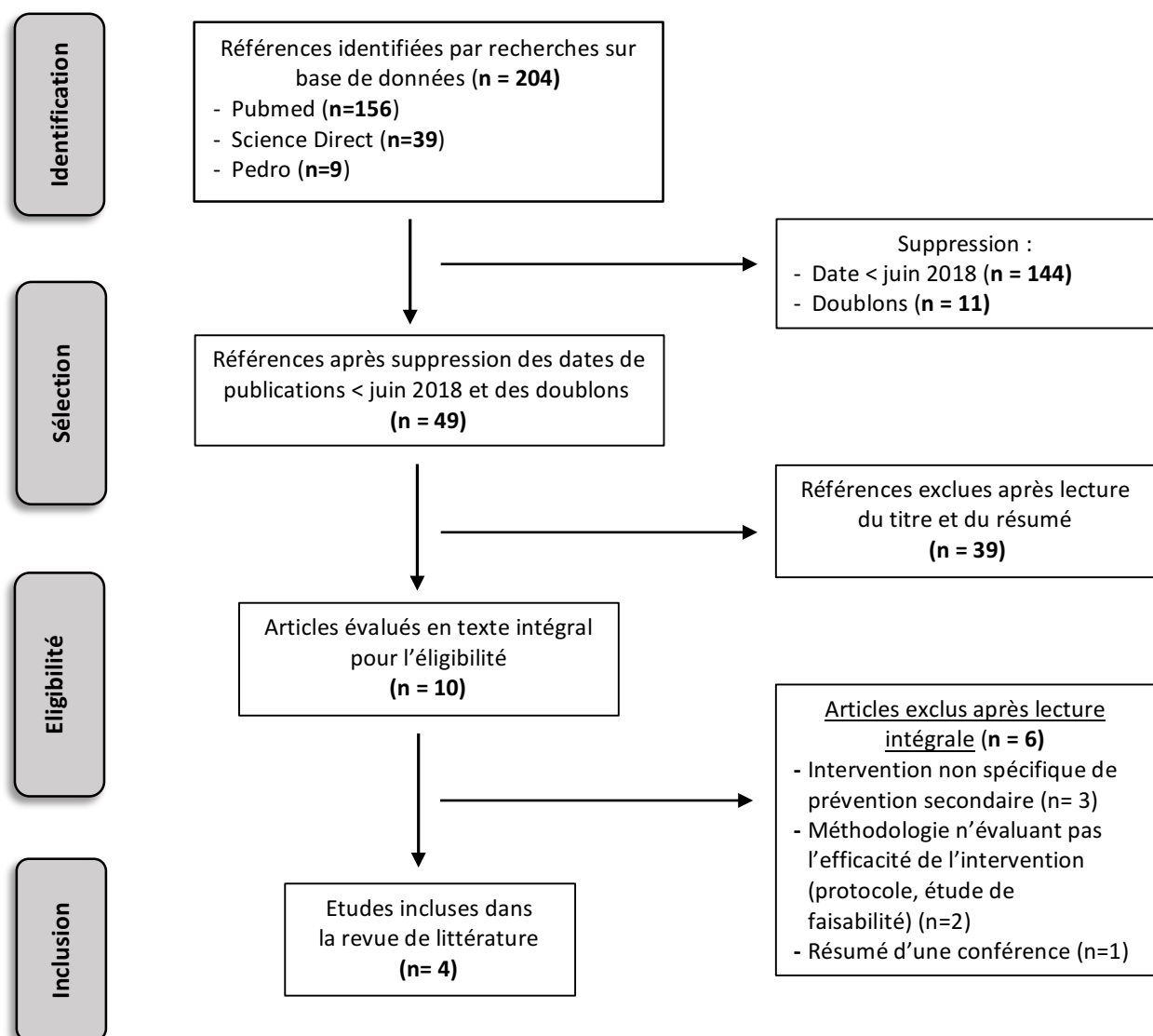


Figure 7 : Diagramme de flux selon le modèle PRISMA

5.2 Caractéristiques principales des études sélectionnées

5.2.1 Présentation générale des études incluses

Un total de quatre références a finalement été retenu pour la réalisation de cette revue de littérature. Celle-ci comprend deux études contrôlées randomisées (ECR) et deux séries de cas. Compte tenu du nombre restreint de publications pertinentes après l'application des critères d'éligibilité, nous avons pris la décision d'inclure des études ayant des méthodologies différentes. Le tableau IV ci-dessous offre une présentation générale des études incluses.

Tableau IV : présentation générale des études incluses

Auteurs	Type d'étude	Titre	Date de publication
Bonacci et al.(73)	ECR	The influence of cadence and shoes on patellofemoral joint kinetics in runners with patellofemoral pain	2018
Bonacci et al.(74)	ECR	Footwear and Cadence Affect Gait Variability in Runners with Patellofemoral Pain	2020
Bramah et al.(75)	Séries de cas	A 10% Increase in Step Rate Improves Running Kinematics and Clinical Outcomes in Runners With Patellofemoral Pain at 4 Weeks and 3 Months	2019
Dos Santos et al. (76)	Rapport de séries de cas	Effects of three gait retraining techniques in runners with patellofemoral pain	2019

5.2.2 Caractéristiques de la population

Le nombre de participants inclus dans les études varie de 12 à 18 dont une majorité de femmes. Afin d'être sélectionnés, les sujets devaient être âgés de 18 ans à 35 ou 40 ans selon les références. Bramah et al. ne précisent pas la tranche d'âge dans leurs critères d'éligibilités, mais indiquent toutefois un âge moyen de 39,9 ans. La population principalement étudiée est celle des coureurs à pied récréatifs. Les critères d'inclusions comprenaient une distance minimale hebdomadaire de 10 kilomètres (pour les deux études de Bonacci) et de 15 kilomètres (pour l'étude de Dos Santos). Bien que Bramah et al. ne spécifient pas la catégorie de coureurs, ils appliquent un critère d'inclusion lié à la régularité des sorties de course à pied hebdomadaires (minimum deux fois par semaine). Dans l'ensemble des études, les coureurs souffraient du syndrome fémoro-patellaire avec une intensité de douleur supérieure ou égale à 3/10 sur l'EVA ou sur l'EN pendant et/ou après la course à pied. La douleur ressentie devait également être aggravée par les activités citées dans la définition consensuelle du SFP telles que sauter, s'accroupir, descendre/monter les escaliers (39).

A la différence de l'intensité, la durée des symptômes varie selon les études. Les participants des études de Bonacci devaient présenter une douleur d'une durée supérieure à 6 semaines tandis qu'une durée minimale de 3 mois était requise dans les études de Dos Santos et Bramah. Le tableau V, ci-dessous, détaille les principales caractéristiques des populations incluses dans les études.

Tableau V : Principales caractéristiques des populations

Références	Nombre et type de coureurs	Genre	Age moyen (années)	SFP : Durée et intensité de la douleur	Volume de course moyen (km/semaine)
Bonacci, 2018	15 coureurs à pied récréatifs	12F/3H	32,6 (de 18 à 40 ans)	> 6 semaines ≥ 3/10 sur l'EVA	15,60
Bonacci, 2020	15 coureurs à pied récréatifs	12F/3H	32,6 (de 18 à 40 ans)	> 6 semaines ≥ 3/10 sur l'EVA	15,60
Bramah, 2019	12 coureurs à pied	8F/4H	39,9	> 3 mois ≥ 3/10 sur EN	29
Dos Santos, 2019	18 coureurs à pied récréatifs	9F/9H	27,3 (de 18 à 35 ans)	> 3 mois ≥ 3/10 sur l'EVA	23

Le tableau VI, présenté à la page 31, offre une vision synoptique des trois parties 5.2.3, 5.2.4 et 5.2.5 décrites ci-dessous.

5.2.3 Objectifs des études

L'objectif commun de ces études est d'analyser les effets d'interventions de prévention secondaire sur les données biomécaniques et/ou sur les critères cliniques chez les coureurs à pied récréatifs avec un SFP. A travers cette revue de littérature, différents types d'interventions sont exposés.

Tout d'abord, Bramah et al. étudient uniquement l'effet d'une augmentation de la cadence de course de 10%. Les deux études de Bonacci évaluent également cette modalité d'intervention mais ajoutent une analyse supplémentaire liée à l'utilisation de chaussures minimalistes. Enfin, Dos Santos et al. étudient les effets de 3 techniques de modification du schéma de course (augmentation de la cadence, attaque du pied au sol et posture du tronc). Ainsi, ces différentes interventions spécifiques à la course à pied peuvent être regroupées en deux groupes distincts. D'une part, les interventions qui visent à modifier le schéma de course à pied avec des modifications de paramètres spatio-temporels (augmentation de la cadence) et de paramètres cinématiques (attaque du pied au sol et posture du tronc). D'autre part, les interventions qui visent à modifier l'équipement avec l'utilisation de chaussures minimalistes.

5.2.4 Modalités des protocoles d'interventions

Les modalités de protocole des *études de Bonacci et al.* sont relativement similaires. En effet, dans ces 2 ECR en cross over, les participants devaient courir 5 minutes sur un tapis de course, selon différentes conditions ordonnées aléatoirement : chaussures de contrôle à la cadence préférée (condition de contrôle), chaussures de contrôle avec une cadence de +10%, chaussures minimalistes à la cadence préférée. *L'étude Bonacci 2018* ajoute une condition supplémentaire (chaussures minimalistes avec une cadence de +10%) afin d'évaluer l'effet combiné de ces deux interventions. L'ensemble des sujets a réalisé chacune des modalités citées précédemment avec une période de repos de 5 minutes entre chaque. Pour l'analyse des critères de jugement, les conditions expérimentales étaient respectivement comparées à la condition contrôle. Les chaussures minimalistes avaient un drop de 0 mm tandis qu'un drop de 11mm caractérisait les chaussures de contrôle (assimilables à la catégorie maximaliste).

Dos Santos et al. analysent les effets de 3 types de rééducation du schéma de course. Pour cela, les participants randomisés en trois groupes ont reçu des instructions verbales afin d'adopter un nouveau schéma de course. Pour le groupe de la réception avant-pied, les coureurs devaient « frapper avec l'avant du pied » en touchant le sol avec les articulations du métatarse. Pour le groupe de l'augmentation de 10% de la cadence, ils devaient maintenir une cadence de 10% plus élevée contrôlée par un métronome. Les participants du groupe de l'augmentation de la flexion du tronc, devaient courir avec une augmentation de la posture du tronc fléchi. Chaque groupe a effectué 8 sessions sur 2 semaines sur un tapis roulant. Le design méthodologique de l'étude « rapport de série de cas » induit une absence de groupe contrôle. En effet, l'analyse des critères de jugement s'est effectuée en comparaison intra-groupe en fonction des différents temps de mesures. Toutefois, une comparaison entre les trois groupes a été réalisée.

Le protocole de rééducation de course à pied de *l'étude de Bramah* comprend une seule séance de dix minutes. Celle-ci a consisté en une augmentation de 10% de la cadence initiale. Sur les cinq premières minutes, les participants ont reçu l'aide d'un métronome qui a ensuite été retiré afin de s'assurer que les participants étaient capables de maintenir la nouvelle cadence. Pendant le mois post-intervention, afin de conserver l'augmentation de 10%, l'utilisation d'une application de métronome et d'une montre GPS a été requise. En raison de l'absence d'un groupe contrôle (étude de type série de cas), la comparaison a été réalisée en intra-groupe suivant les différents temps de mesure.

5.2.5 Critères de jugement et outils de mesure

Afin de déterminer l'efficacité de leurs interventions, l'ensemble des études sélectionnées utilise des critères de jugement correspondant aux paramètres mesurés. Toutes les références incluses analysent l'effet des interventions sur les paramètres biomécaniques des membres inférieurs. En parallèle de ces mesures, deux d'entre elles ont également évalué les critères cliniques tels que l'intensité de la douleur et les capacités fonctionnelles.

- **Paramètres biomécaniques**

Les 2 études de Bonacci et al. évaluent l'effet immédiat de leurs interventions. Pour cela, tous deux analysent les données biomécaniques des membres inférieurs sur une moyenne de 20 foulées au cours de la 5^{ème} minute de course administrée. Malgré une similarité dans les modalités de protocole, les variables mesurées diffèrent permettant ainsi de répondre à leurs objectifs respectifs.

Bonacci et al. 2018 ont collecté des données cinématiques (angle de flexion maximal du genou) à l'aide d'un système d'analyse du mouvement vidéo 3D à 8 caméras et 32 marqueurs rétro-réfléchissants fixés bilatéralement sur des repères anatomiques des membres inférieurs. Ils ont également analysé des données cinétiques (moment de l'extension du genou maximal), en synchronisant les données de capture de mouvement avec les données sur la force de réaction du sol à partir d'un tapis roulant instrumenté. Enfin, ils ont estimé les pics de force de réaction et de stress de l'articulation fémoro-patellaire. L'ensemble des données collectées a été normalisé à la phase d'appui du cycle de course.

Bonacci et al. 2020 ont utilisé le même procédé que l'étude de Bonacci 2018 pour collecter les données cinématiques et cinétiques de la hanche, genou et cheville. A partir de celles-ci, l'entropie approximative a été calculée pour évaluer la variabilité continue sur 20 foulées. De plus, la variabilité de coordination a été analysée pour le couplage des articulations des membres inférieurs. Ces deux approches de mesures de la variabilité des membres inférieurs sont à différencier. Effectivement, l'entropie approximative évaluant les variabilités cinématiques et cinétiques examine la régularité des séries chronologiques des articulations individuelles tandis que la variabilité de coordination examine la régularité de l'interaction entre les articulations du corps.

Les deux études type « séries de cas » ont collecté des données biomécaniques de manière prospective en invitant les participants à suivre des séances d'analyses du schéma de course. Cependant, les périodes de suivi diffèrent entre les études. En effet, Bramah et al. ont recueilli des mesures lors de l'évaluation initiale, à 1 et 3 mois post-intervention tandis que Dos santos et al. les ont recueillies avant et directement après l'intervention.

Dans ces deux études, les données cinématiques des membres inférieurs et du tronc ont été collectées à l'aide de caméras et de marqueurs fixés sur les segments anatomiques. Ainsi, Bramah et al. ont analysé les pics de chute pelvienne controlatérale, adduction et rotation interne de hanche et flexion de genou. Dos Santos et al. ont évalué, quant à eux, les amplitudes articulaires moyennes et maximales des membres inférieurs (hanche, genou, cheville) pendant la phase d'appui du cycle de course.

Enfin, seule l'étude de Dos Santos a effectué une analyse électromyographique (EMG). Cette dernière a permis de mesurer l'activité musculaire moyenne de sept muscles du membre inférieur, pendant trois phases spécifiques du cycle de course : la phase d'appui (0 à 45% du cycle), la première moitié de la phase d'oscillation terminale (80 à 90% du cycle) et la seconde moitié de la phase d'oscillation terminale (90 à 100% du cycle).

- ***Critères cliniques***

Par rapport au recueil des données biomécaniques, l'étude de Dos Santos a ajouté un temps de mesure supplémentaire (suivi à 6 mois) pour les critères cliniques. La période de suivi de Bramah est restée, quant à elle, identique.

Les deux études évaluent l'intensité de la douleur maximale ressentie par les participants au cours de la semaine précédente. Pour cela, l'étude de Bramah utilise l'Echelle Numérique (EN) consistant à demander aux coureurs une note de 0 à 10. A la différence, l'étude de Dos Santos utilise l'Echelle Visuelle Analogique (EVA) de 10 cm, où les patients placent le curseur entre 0 et 10. Ces 2 échelles font correspondre le 0 à une absence de douleur et le 10 à la douleur maximale imaginable. Dos Santos utilise également un questionnaire d'auto-évaluation « Anterior Knee Pain Scale (AKPS) », permettant d'évaluer la douleur ainsi que la fonction. Il est composé de 13 questions à choix multiples afin d'évaluer l'intensité des symptômes du SFP et les limitations fonctionnelles. Le score varie de 0 (pire état) à 100 (pas de symptômes et pas de restrictions fonctionnelles quotidiennes) (77).

Afin d'évaluer les capacités fonctionnelles des participants, les deux études ont eu recours au même outil d'évaluation : « La Lower Extremity Functional Scale (LEFS) ». Cette échelle évalue la capacité du patient à effectuer 20 tâches quotidiennes. Le score de chaque tâche est divisé en 5 catégories : (0 : difficulté extrême ou incapacité à effectuer une activité), (1 : grande difficulté), (2 : difficulté modérée), (3 : peu de difficulté) et (4 : aucune difficulté). Au total, le score de la fonction maximale est de 80 points (78).

En complément de cette échelle, l'étude de Bramah a mesuré deux variables supplémentaires spécifiques à la course à pied : la plus longue durée de course sans douleur et le volume total de course hebdomadaire.

Tableau VI : Présentation synoptique des objectifs, modalités de protocoles d'interventions et critères de jugement des études

Etudes	Objectifs de l'étude	Modalités des protocoles d'interventions	Critères de jugement
Bonacci et al. 2018 (73)	<u>Principal</u> : Déterminer l'effet de la combinaison de chaussures minimalistes et d'une cadence augmentée sur le stress fémoro-patellaire chez les coureurs atteints de SFP. <u>Secondaire</u> : Evaluer l'effet de la course sur les forces de réaction FP, le moment d'extension de genou et l'angle de flexion du genou, selon 4 conditions différentes.	<u>5 min de course sur un tapis roulant, dans 4 conditions ordonnées aléatoirement</u> : - chaussures de contrôle à la cadence préférée (condition de contrôle) - chaussures de contrôle et une cadence de +10% - chaussures minimalistes à la cadence préférée - chaussures minimalistes et une cadence de +10% 5 min de repos entre chaque condition	<u>Variables mesurées pour les 4 conditions</u> : • Stress fémoro-patellaire maximal • Force de réaction fémoro-patellaire maximale • Moment d'extension de genou maximal • Angle de flexion maximal de genou
Bonacci et al. 2020 (74)	Déterminer l'effet d'une cadence augmentée et de chaussures minimalistes sur la variabilité des membres inférieurs chez les coureurs souffrant de SFP.	<u>5 min de course sur un tapis roulant, dans 3 conditions ordonnées aléatoirement</u> : - chaussures standards à la cadence préférée (condition de contrôle) - chaussures standards +10% de cadence - chaussures minimalistes à la cadence préférée 5 min de repos entre chaque condition	<u>Variables mesurées pour les 3 conditions</u> : • Variabilité de la coordination pour le couplage des articulations (hanche, genou, cheville) • Variabilité de la cinématique et cinétique des membres inférieurs : hanche et genou (flexion/extension, adduction/abduction, rotation interne/externe) et cheville (flexion dorsale/plantaire, inversion/éversion, rotation interne/externe)
Bramah et al. 2019 (75)	Déterminer si une augmentation de 10 % de la cadence de course influence la cinématique du plan frontal de la hanche et du bassin ainsi que les résultats cliniques chez les coureurs souffrant de SFP.	Une seule séance de 10 min de rééducation de la démarche de course sur tapis roulant : augmentation de 10% de la cadence à l'aide d'un métronome. Pendant le 1^{er} mois post-intervention : utilisation d'une application de métronome et d'une montre GPS pour surveiller la cadence.	<u>Variables mesurées à l'évaluation initiale, à 1 et 3 mois post-intervention</u> : • Variables cinématiques : pic de chute pelvienne controlatérale, pic d'adduction et de rotation interne de hanche, pic de flexion de genou • Douleur (EN) • Fonction (LEFS) • Fonction spécifique CAP : La plus longue durée de course sans douleur et le volume total de course hebdomadaire

Dos Santos et al. 2019 (76)	Analyser les effets de 3 types de rééducation de la course (attaque du pied au sol, cadence, posture du tronc) sur la biomécanique des membres inférieurs et les mesures cliniques chez les coureurs souffrant de SFP.	<u>Rééducation de la démarche de course sur tapis roulant pour les participants randomisés en 3 groupes :</u> - Attaque avant-pied (AVP) - Augmentation de 10% de la cadence (CAD10%) - Augmentation de la flexion du tronc (FDT) 8 sessions sur 2 semaines (4 sessions/semaine) de 15 à 30 min avec instructions verbales	<u>Variables mesurées avant et en post-intervention :</u> • Variables cinématiques : angle sagittal de la cheville et du genou au contact initial, flexion moyenne et maximale du genou, ABD max du genou, RE max du genou, flexion de la hanche au contact initial, ADD max de la hanche, RI max de la hanche et flexion moyenne du tronc. → pendant la phase d'appui • Activité musculaire : Gastrocnémien médial, tibial antérieur, vaste latéral, droit fémoral, moyen fessier, biceps fémoral, grand fessier → pendant 3 phases du cycle de course <u>Variables mesurées avant, en post-intervention et à 6 mois de suivi :</u> • Douleur (EVA, AKPS) • Fonction (LEFS)
---	---	---	--

Abréviations : FP : fémoro-patellaire, CAP : course à pied, Min : minutes, ABD : abduction, RE : rotation externe, ADD : adduction, RI : rotation interne.

5.3 Analyse méthodologique des études

5.3.1 Niveaux de preuves

Le niveau de preuve des études incluses a été identifié selon les critères du « Center for Evidence-Based Medicine (CEBM) d'Oxford » (79). Les deux études contrôlées randomisées obtiennent un niveau de preuve II considéré comme le plus haut niveau de preuves parmi les études individuelles interventionnelles (71). Les deux séries de cas, quant à elles, obtiennent un niveau de preuve IV considéré comme un faible niveau de preuve (79).

5.3.2 Qualité méthodologique

Afin d'analyser la qualité méthodologique des références sélectionnées, nous avons utilisé deux échelles différentes en fonction des types d'études.

Dans un premier temps, pour les deux ECR (73,74), nous avons sélectionné la grille PEDro (80). Cette échelle quantitative spécifique à l'évaluation des ECR est composée de 11 critères. Plus précisément, les critères 2 à 9 permettent d'évaluer la validité interne et les critères 10 à 11 permettent, quant à eux, d'identifier si l'étude présente suffisamment d'informations statistiques pour rendre les résultats interprétables. Le critère 1 relatif à l'évaluation de la validité externe de l'article n'est pas comptabilisé dans le calcul du score final. Ainsi, le score PEDro est compris entre 0 et 10 points. Un niveau élevé de qualité méthodologique se traduit par un score supérieur ou égal à 6/10, un niveau modéré par un score compris entre 4-6, et un niveau faible par un score inférieur ou égal à 3/10 (81). A l'issue de l'analyse détaillée des deux ECR, un score PEDro de 6/10 leur est attribué, témoignant donc d'une qualité méthodologique élevée (*Annexe 1*).

Dans un second temps, pour les deux séries de cas (75,76), nous avons sélectionné l'échelle « Quality Assessment Tool for Case Series Studies » rédigée par la National Institutes of Health (NIH) (82). Cette échelle composée de 9 items permet une évaluation de la validité interne des séries de cas en se concentrant sur les risques de biais. En réponse à chaque item, 3 types de réponses peuvent être apportées : "oui", "non" ou "non déterminé/non rapporté/non applicable". A l'issue de l'évaluation, la qualité de l'étude est définie selon 3 catégories : "bonne", "moyenne" ou "mauvaise". Cependant, contrairement à l'échelle PEDro, celle-ci ne donne pas de score numérique final. Afin de faciliter l'analyse, nous avons effectué une notation subjective reflétant les risques de biais. Ainsi, nous considérons une bonne qualité méthodologique pour un score supérieur ou égal à 7/9, une qualité moyenne pour un score compris entre 3 et 7, et une mauvaise qualité pour un score inférieur ou égal à 3/9.

L'analyse détaillée des deux séries de cas révèle une très bonne qualité méthodologique avec un score similaire de 9/9 (*Annexe 2*).

5.4 Résultats des études

5.4.1 Interventions visant à modifier le schéma de course « gait retraining »

5.4.1.1 Modification des paramètres spatio-temporels : cadence de course

L'étude de **Bonacci 2018** a constaté une réduction de tous les paramètres mesurés lors d'une augmentation de 10% de la cadence par rapport à la condition contrôle. En effet, le stress fémoro-patellaire maximal ($p=0,009$), la force de réaction fémoro-patellaire maximale ($p=0,004$), le moment de l'extension de genou maximal ($p=0,019$) et l'angle de flexion maximal du genou ($p<0,001$) ont été réduits de manière significative.

L'étude de **Bonacci 2020**, lors d'une augmentation de la cadence de 10% par rapport à la condition contrôle (chaussure de contrôle à la cadence préférée), a montré une augmentation significative ($p<0,001$) de la variabilité cinématique pour 3 des paramètres mesurés. Ainsi, les valeurs d'entropies approximatives cinématiques (ApEn) se sont révélées plus élevées pour la hanche dans un plan sagittal (flexion/extension) et frontal (adduction/abduction) ainsi que la cheville dans un plan sagittal (dorsiflexion/flexion plantaire). De plus, dans ces conditions d'interventions similaires, l'étude indique une augmentation significative ($p<0,001$) de la variabilité cinétique (ApEn) pour les moments de flexion/extension de genou.

Les résultats de ces deux études sont présentés dans le tableau VII.a ci-dessous.

Tableau VII.a Résultats d'une augmentation de la cadence de 10% (études de Bonacci et al.)

Etudes	Comparateur	Paramètres mesurés	Résultats
Bonacci et al. 2018	Condition contrôle (chaussures contrôles à la cadence préférée) VS Condition expérimentale (chaussures contrôles et augmentation de la cadence de 10%)	Stress FP maximal	↘ significative ($p = 0,009$) dans la CE (DM : -16%)
		Force de réaction FP maximale	↘ significative ($p=0,004$) dans la CE (DM : -19%)
		Moment d'extension de genou maximal	↘ significative ($p=0,019$) dans la CE (DM : - 12 %)
		Angle de flexion maximal de genou	↘ significative ($p<0,001$) dans la CE (DM : - 4°)
Bonacci et al. 2020	Condition contrôle (chaussures contrôles à la cadence préférée) VS Condition expérimentale (chaussures contrôles et augmentation de la cadence de 10%)	Variabilité cinématique	↗ significative ($p<0,001$) dans la CE pour : - F/E de la hanche (DM : 0,018) - ADD/ABD de la hanche (DM : 0,036) - FD/FP de la cheville (DM : 0,049)
		Variabilité cinétique	↗ significative ($p<0,001$) dans la CE pour : - F/E du genou (DM : 0,041)
		Variabilité de coordination	Aucune différence significative ($p > 0,0037$)

CE : condition expérimentale, CC : condition contrôle, VS : versus, ↘ : diminution, ↗ : augmentation,

FP : fémoro-patellaire, DM : différence moyenne, $p = p$ -value, Bonacci 2018 : risque $\alpha = 0,05$

Bonacci 2020 : (variabilité continue : risque $\alpha = 0,0014$); (variabilité de coordination : risque $\alpha = 0,0037$)

Bramah et al 2019, après la réalisation d'un protocole de rééducation en course à pied spécifique à une augmentation de la cadence de 10%, ont montré un effet significatif de certains des paramètres cinématiques mesurés en fonction du temps. En effet, une réduction significative ($p < 0,01$) du pic de chute pelvienne contralatérale de $3,12^\circ$, du pic l'adduction de hanche de $3,99^\circ$ et de la flexion maximale de genou de $4,10^\circ$ a été observée lors du suivi à un mois par rapport à l'analyse initiale. Ces résultats cinématiques se sont maintenus significativement ($p < 0,01$) à 3 mois par rapport à la base de référence. Cependant, ils n'ont présenté aucune différence significative ($p = 0,93$) entre le suivi de 1 et 3 mois.

En parallèle de ces résultats, Bramah et al. ont constaté des améliorations au niveau des critères cliniques, avec une réduction significative ($p < 0,01$) de la douleur sur l'échelle numérique (EN), passant d'une moyenne de 6,2/10 à l'état initial, à 1,0/10 à 1 mois et à 0,3/10 à 3 mois. Enfin, cette étude s'est intéressée à l'évaluation des capacités fonctionnelles des participants, en utilisant notamment l'échelle LEFS qui a révélé une augmentation significative ($p < 0,01$) des scores de 14,3 points à 1 mois et 17,4 points à 3 mois, par rapport à la situation de départ. Ces améliorations fonctionnelles sont également représentées par une augmentation significative ($p < 0,01$) du volume total hebdomadaire de la course et de la plus longue distance parcourue sans douleur.

L'étude effectuée par **Dos Santos et al.**, sur une hausse de 10% de la fréquence de pas sur les données biomécaniques, n'a fait ressortir aucune différence significative tant sur les variables cinématiques que sur l'analyse électromyographique. Toutefois, cette série de cas a révélé une amélioration significative des critères cliniques sur le plan de la douleur et de la fonction. Plus précisément, cela est représenté par une réduction significative ($p < 0,001$) de la douleur sur l'échelle EVA, de 2,75 points en post-intervention et de 3,77 points à 6 mois de suivi par rapport à l'état initial. Les scores AKPS ont montré une augmentation significative uniquement lors du suivi à 6 mois ($p < 0,001$) et non en post-intervention. Enfin, cette étude révèle une augmentation significative ($p < 0,001$) des scores LEFS, de 8,16 points en post-intervention et de 8,74 points à 6 mois de suivi.

Le tableau VII.b présente les résultats des études de Bramah et al. et Dos Santos et al. sur l'augmentation de la cadence de 10%.

Tableau VII.b : Résultats d'une augmentation de la cadence de 10% (études de Bramah et Dos Santos)

Etudes	Comparateur	Paramètres mesurés	Résultats
Bramah et al. 2019	Comparaison intra-groupe (évaluation à 1 et 3 mois par rapport à l'état initial)	Paramètres cinématiques	↘ significative ($p < 0,01$) : - pic de CPC à 1M (DM : 3,12°) et à 3M (DM : 2,7°) - pic HADD à 1M (DM : 3,99°) et à 3M (DM : 2,8°) - flexion max de genou à 1M (DM : 4,10°) et à 3M (DM : 4,15°)
		Douleur	↘ significative ($p < 0,01$) des scores de douleur sur EN : de 5,2 pts à 1M et 5,9 pts à 3M
		Fonction	↗ significative ($p < 0,001$) : - scores LEFS de 14,3 pts à 1M et 17,4 pts à 3M - volume total hebdomadaire de la course à 1M (DM: 13,8km) et à 3M (DM: 15km) - plus longue distance parcourue sans douleur à 1M (DM: 6,8km) et à 3M (DM: 9,3km)
Dos Santos et al. 2019	Comparaison intra-groupe (évaluation en post-I et à 6 mois par rapport à l'état initial)	Douleur	↘ significative ($p < 0,001$) de l'intensité de douleur sur EVA : en post-I et à 6 mois (DM: 3,77 pts) ↗ significative ($p < 0,001$) des scores AKPS à 6 mois (DM :10,8 pts)
		Fonction	↗ significative ($p < 0,001$) des scores LEFS : en post-I et à 6 mois (DM: 8,74 pts)

M : mois, post-I : post-intervention, pts : points, DM : différence moyenne, HADD : adduction de hanche, CPC : chute pelvienne controlatérale, p = p-value ; Bramah (risque $\alpha = 0,016$) ; Dos Santos (risque $\alpha = 0,05$)

5.4.1.2 Modification des paramètres cinématiques : attaque au sol de type avant-pied et augmentation de la flexion de tronc

Comme indiqué précédemment dans la partie « modalité d'intervention », outre l'analyse d'une augmentation de 10% de la cadence, **Dos Santos et al.** se sont penchés sur l'étude d'une attaque au sol de type avant-pied ainsi que sur l'augmentation de la flexion du tronc chez les coureurs à pied récréatifs. Ainsi, en post-intervention, une augmentation significative ($p < 0,001$) de l'angle de flexion plantaire et de l'angle de flexion de tronc ont été retrouvés pour les conditions AVT et FDT respectivement, par rapport à l'état initial. Ces résultats ont également été significatifs ($p < 0,001$) lors de la comparaison inter-groupe. L'analyse électromyographique, dans la condition AVP, a mis en évidence une augmentation significative de l'activité musculaire des gastrocnémiens médians en post-intervention à 80 à 90 % et 90% à 100% du cycle de course. Cette dernière phase du cycle a également révélé une hausse significative ($P < 0,002$) de l'activité du droit fémoral par rapport aux autres conditions (CAD10% et FDT). Enfin, ces deux interventions ont permis de façon respective une amélioration des critères cliniques. En effet, la présente étude a démontré une réduction significative ($P < 0,001$) de l'intensité de douleur sur l'EVA ainsi qu'une augmentation significative des scores AKPS en post-intervention et maintenue à 6 mois.

De plus, les capacités fonctionnelles des participants évaluées par l'échelle LEFS, ont indiqué une augmentation significative ($P < 0,001$) de leurs scores après l'entraînement et maintenus à 6 mois. Le tableau VIII, ci-dessous, présente les résultats d'une attaque avant-pied et d'une augmentation de la flexion de tronc.

Tableau VIII : Résultats d'une attaque avant-pied et d'une augmentation de la flexion de tronc

Etudes	Comparateur	Paramètres mesurés	Résultats
Dos Santos et al. 2019	Comparaison intra-groupe <i>(évaluation en post-I et à 6 mois par rapport à l'état initial)</i> ET Comparaison inter-groupe <i>(entre les groupes AVP, FDT et CAD10%)</i>	Paramètres cinématiques	<u>AVP</u> : ↗ significative ($p < 0,001$) de l' angle de FP en post-I et par rapport aux CAD10% et FDT <u>FDT</u> : ↗ significative ($p < 0,001$) de l' angle de FDT en post-I et par rapport aux CAD10 et AVP
		Activité musculaire	<u>AVP</u> : - A 80 à 90 % et 90% à 100% du CDC : ↗ significative ($p < 0,001$) de l'activité des GM en post-I et par rapport FDT - 90% à 100% du CDC : ↗ significative ($p < 0,002$) de l'activité du DF en post-I et par rapport aux FDT et CAD10%
		Douleur	<u>AVP et FDT</u> : ↘ significative ($p < 0,001$) de l' intensité de douleur sur EVA en post-I et maintenus à 6mois (DM 3,77pts) <u>AVP et FDT</u> : ↗ significative ($p < 0,001$) des scores AKPS en post-I et maintenus à 6 mois (DM :15,5 pts)
		Fonction	<u>AVP et FDT</u> : ↗ significative ($p < 0,001$) des scores LEFS en post-I et maintenus à 6 mois (DM :8,74pts)

AVP : attaque avant-pied, FDT : flexion de tronc, CAD10% : cadence 10%, FP : flexion plantaire, CDC : cycle de course, GM : gastrocnémiens médians, DF : droit fémoral ; $p = p\text{-value}$; risque $\alpha = 0,05$

5.4.2 Interventions visant à modifier l'équipement : chaussures minimalistes

A l'instar des résultats constatés par **Bonacci 2018** suite à l'augmentation de cadence, ceux-ci présentent une réduction significative ($p < 0,001$) de toutes les variables mesurées lors de l'utilisation de chaussures minimalistes à la cadence préférée par rapport à la condition contrôle (chaussures de contrôle à la cadence préférée).

L'étude de **Bonacci 2020** n'indique aucune différence statistiquement significative ($p > 0,0014$) de la variabilité cinématique entre la condition « chaussures minimalistes à la cadence préférée » par rapport à la condition contrôle. Une augmentation significative ($p < 0,001$) de la variabilité cinétique a néanmoins été constatée pour les moments de rotation interne/externe de hanche, d'adduction/abduction et rotation interne/externe de genou.

Ces résultats sur l'utilisation de chaussures minimalistes sont présentés dans le tableau IX.

Tableau IX : Résultats de l'utilisation de chaussures minimalistes lors de la course

Etudes	Comparateur	Paramètres mesurés	Résultats
Bonacci et al. 2018	Condition contrôle (chaussures contrôles à la cadence préférée) VS Condition expérimentale (chaussures minimalistes à la cadence préférée)	Stress FP maximal	↘ significative ($p < 0,001$) dans la CE (DM : - 15%)
		Force de réaction FP maximale	↘ significative ($p < 0,001$) dans la CE (DM : - 17%)
		Moment de l'extension de genou maximal	↘ significative ($p < 0,001$) dans la CE (DM : - 13%)
		Angle de flexion maximal de genou	↘ significative ($p < 0,001$) dans la CE (DM : - 3°)
Bonacci et al. 2020	Condition contrôle (chaussures contrôles à la cadence préférée) VS Condition expérimentale (chaussures minimalistes à la cadence préférée)	Variabilité cinématique	Aucune différence significative ($p > 0,0014$)
		Variabilité cinétique	↗ significative ($p < 0,001$) pour les moments de : - RI/RE de la hanche (DM : 0,111) - ADD/ABD du genou (DM : 0,076) - RI/RE du genou (DM : 0,082)
		Variabilité de coordination	Aucune différence significative ($p > 0,0037$)

CE : condition expérimentale, DM : différence moyenne, $p = p\text{-value}$, Bonacci 2018 : risque $\alpha = 0,05$

Bonacci 2020 : (variabilité continue : risque $\alpha = 0,0014$) et (variabilité de coordination : risque $\alpha = 0,0037$)

5.4.3 Interventions combinées : chaussures minimalistes et cadence augmentée

L'objectif principal de l'étude **Bonacci 2018** était d'examiner l'effet combiné de chaussures minimalistes et d'une augmentation de 10% de la cadence de course sur le stress fémoro-patellaire (tableau X). Comme présenté précédemment, l'application séparée d'une utilisation de chaussures minimalistes et d'une augmentation de la cadence a réduit de manière significative le stress fémoro-patellaire, avec respectivement une diminution de la charge de stress de -15% et de -16%. Une combinaison de ces deux modalités a permis d'obtenir une réduction significative ($p < 0,001$) de 27%.

Tableau X : Résultats de l'utilisation de chaussures minimalistes et d'une augmentation de cadence

Etudes	Comparateur	Paramètres mesurés	Résultats
Bonacci et al. 2018	Condition contrôle (chaussures de contrôles à la cadence préférée) VS Condition expérimentale (chaussures minimalistes et cadence 10%)	Stress FP maximal	↘ significative ($p < 0,001$) dans la CE (DM: - 27%)
		Force de réaction FP maximale	↘ significative ($p < 0,001$) dans la CE (DM: - 30%)
		Moment de l'extension de genou maximal	↘ significative ($p < 0,001$) dans la CE (DM: - 24%)
		Angle de flexion maximal de genou	↘ significative ($p < 0,001$) dans la CE (DM: - 5°)

6. Discussion

6.1 Limites de la revue de littérature

L'analyse et l'interprétation des résultats doivent se faire avec précaution en prenant en considération plusieurs limites et biais identifiés au sein de cette revue de littérature.

6.1.1 Limites de la qualité méthodologique de la revue

Dans un premier temps, lors du processus de recherches documentaires, trois bases de données (PubMed, Sciences Direct et PEDro) ont été interrogées. Bien que ce nombre soit conforme aux recommandations de la grille d'évaluation de la qualité méthodologique des revues (AMSTAR) (83), des bases supplémentaires telles que Google Scholar et SportDiscus auraient pu être utilisées afin de rendre notre recherche plus exhaustive.

Dans un second temps, de par le caractère individuel de ce travail, nous avons réalisé seul la sélection des études et l'extraction des données. Or, la réalisation de ces procédés est recommandée par un minimum de deux personnes de façon indépendante (83). Cette limite souligne donc un risque de biais de sélection important. De plus, seules les publications issues de la littérature francophone ou anglophone ont été incluses afin d'assurer leurs compréhensions et interprétations complètes. Cependant, des articles pertinents à l'égard de notre question de recherche ont pu être exclus en raison de leurs langues.

Après l'application des critères d'éligibilité, seulement 4 articles ont été inclus dans la revue de littérature. Ce faible nombre peut en partie être expliqué par la restriction temporelle imposée. En effet, l'exploration littéraire scientifique a été effectuée après mai 2018, date limite d'inclusion des références des guidelines 2019 (8). Il est donc concevable que cette courte période de temps révèle un nombre limité d'articles scientifiques répondant précisément à notre question de recherche. Ainsi, compte tenu du nombre restreint de publications pertinentes, nous avons pris la décision d'inclure des études ayant des méthodologies différentes.

Enfin, une limite primordiale à prendre en considération dans ce travail est le fait que nous n'avons pas été en mesure de réaliser une comparaison quantitative entre les études. En effet, cette comparaison nécessite une homogénéité entre leurs différentes caractéristiques. Or, dans cette revue, les études diffèrent notamment par leurs typologies, modalités de protocoles d'interventions et critères de jugement. Au regard de cette forte hétérogénéité, nous nous sommes donc limités à une synthèse méthodique qualitative (84).

6.1.2 Limites et biais des études incluses

Les niveaux de preuves et la qualité méthodologique des études incluses ont été évalués dans cette revue afin d'apprécier la fiabilité scientifique des résultats. Comme décrit précédemment, les études contrôlées randomisées obtiennent le plus fort niveau de preuve (II) parmi les études individuelles interventionnelles (79). Cependant, plusieurs limites et biais sont attribués à leurs qualités méthodologiques (score PEDro 6/10). Les séries de cas, quant à elles, obtiennent un faible niveau de preuve (IV) (79). Ainsi, malgré une très bonne qualité méthodologique (score 9/9), de nombreuses limites peuvent erroner l'interprétation des résultats.

6.1.2.1 Population

Lors de la précision des critères d'éligibilité et du recrutement des participants, l'ensemble des études incluses ont révélé un biais de sélection lié à la constitution de l'échantillon. En effet, sur plusieurs points présentés ci-dessous, la population incluse dans les études n'est pas entièrement représentative de la population cible. Ainsi, la validité externe des études est diminuée par une applicabilité restreinte des résultats à la pratique réelle.

A l'heure actuelle, aucune définition par consensus n'existe pour différencier les catégories de coureurs à pied (12,13). Ainsi, la population étudiée diffère entre les études sélectionnées malgré une dénomination commune de « coureurs récréatifs » pour trois d'entre elles. En effet, afin d'être inclus dans les études de Bonacci et de Dos Santos, les coureurs doivent courir un minimum de 10 ou 15 km par semaine, respectivement. De plus, en raison de sa pertinence à l'égard de notre problématique, nous avons fait le choix d'inclure l'étude de Bramah bien qu'elle ne spécifie pas la catégorie de coureurs. Un critère d'inclusion lié à la régularité des entraînements de course (un minimum de deux fois par semaine) est toutefois indiqué.

Par ailleurs, seule l'étude de Dos Santos prend en compte l'expérience en course à pied dans ses critères d'inclusions. Un minimum de 15 kilomètres hebdomadaires au cours des trois derniers mois est requis. Or, cette notion, bien que manquante dans trois études, est indispensable pour distinguer les types de coureurs et optimiser la prise en charge rééducative. D'après une récente revue systématique, l'absence d'expérience en course à pied est un facteur de risque de blessures (85). Plus précisément, contrairement aux coureurs novices, l'expérience antérieure peut permettre une meilleure connaissance de la discipline notamment sur la progression des volumes d'entraînements afin de ne pas dépasser les capacités d'adaptations maximales du corps.

Par conséquent, l'hétérogénéité des définitions de population limite la comparaison entre les études et peut entraîner une variation des résultats. Une définition uniforme et exhaustive des catégories de coureurs à pied devrait être établie afin de pouvoir comparer une population homogène.

Les études sélectionnées comprennent une majorité de femmes, exceptée celle de Dos Santos incluant un nombre égal d'hommes et de femmes. Or, selon les guidelines, les femmes sont plus susceptibles de développer un SFP que les hommes (8). En effet, le profil des facteurs de risques cinématiques est notamment spécifique au sexe. Les femmes présentent une diminution d'abduction de hanche et une augmentation de rotation interne du genou équivalent aux facteurs de risques identifiés du SFP en course à pied (86). Ainsi, suivant le genre, l'efficacité des interventions peut potentiellement diverger. Cette limite doit être prise en compte lors de la généralisation des résultats à l'ensemble des coureurs récréatifs.

6.1.2.2 *Compareur*

Seuls les essais cliniques comparatifs permettent de déterminer l'efficacité d'une intervention. En effet, le haut niveau de preuve des études de Bonacci est notamment attribuable à la présence d'une condition contrôle « chaussures contrôles et cadence préférentielle ». Une particularité de ces études est leur plan expérimental commun en « cross-over » ou études croisées. Dans ce type de schéma, chaque participant effectue l'ensemble des interventions (dont la condition contrôle). Ainsi, les participants étant leurs propres témoins, seule la variabilité intra-individuelle est prise en compte en excluant la variabilité inter-individuelle. Ce gain de comparabilité renforce alors la validité interne et augmente la puissance statistique de l'étude. A noter, que l'application du principe « cross over » est seulement envisageable dans certaines situations bien spécifiques. La pathologie étudiée doit être stable, les effets de l'intervention doivent apparaître rapidement et être réversibles lors de l'arrêt.

Contrairement aux deux essais contrôlés randomisés, les deux séries de cas sélectionnées, de par leur design méthodologique, ne possèdent aucun groupe témoin. Ces essais non comparatifs engendrent un fort risque de biais de confusion. Ainsi, il semble difficile de conclure sur la véritable efficacité de leurs interventions. Néanmoins, les patients inclus dans ces études devaient présenter des symptômes depuis au minimum 3 mois, ce qui est prédictif d'un mauvais pronostic sur le long terme (64). Or, les résultats obtenus sur l'intensité de douleur ont montré des améliorations statistiquement et cliniquement significatives à 6 mois de suivi. Il paraît donc peu probable que ces importantes améliorations soient dues à l'évolution naturelle de la pathologie.

6.1.2.3 Taille d'échantillons

Les quatre études incluses comportent de faibles tailles d'échantillons (12 à 18 coureurs). Or, pour assurer une fiabilité statistique des résultats obtenus, il est primordial que les études reposent sur des échantillons suffisants de la population cible. Pour se faire, Bramah et al. et Dos Santos et al. ont réalisé un calcul à priori et à postériori, respectivement, afin de déterminer le nombre de sujets nécessaires. En revanche, aucun calcul n'a été effectué dans les études de Bonacci. Néanmoins, leurs faibles tailles d'échantillons peuvent être expliquées par une des particularités du schéma expérimental en « cross-over ». En effectuant l'ensemble des interventions (dont la condition contrôle) chaque patient est comptabilisé plusieurs fois au sein de l'étude. Ainsi, la puissance statistique de l'essai clinique est augmentée par une réduction du nombre de sujets à inclure.

6.1.2.4 Randomisation

Afin de limiter les biais de sélection, une randomisation a été effectuée dans trois des études incluses (73,74,76). Cependant, plusieurs limites découlent de sa procédure de réalisation. Une particularité des essais croisés est que la répartition aléatoire se fait pour l'ordre des différentes interventions. Malgré ce critère respecté pour les deux études de Bonacci, l'application d'une clause d'ignorance n'est pas mentionnée dans le détail méthodologique. Ce biais de sélection a toutefois été évité dans l'étude de Dos Santos. En effet, dans ce rapport sur des séries de cas, un chercheur indépendant a réalisé une randomisation bloquée de l'ensemble des participants en trois groupes en respectant une assignation secrète. Cependant, cette randomisation n'a pas pris en compte l'expérience en course à pied, la durée des symptômes et le genre. Or, comme décrit précédemment, ces caractéristiques individuelles constituent de potentiels facteurs de risques. Ces différences inter-groupes initiales limitent donc la comparaison et peuvent biaiser les résultats finaux.

6.1.2.5 Critère « aveugle »

Le caractère aveugle est un élément fondamental pour maintenir le bénéfice initial de randomisation et permettre de limiter les biais de mesures ou de classements liés à la subjectivité des patients, thérapeutes et examinateurs (87). Aucune information n'est indiquée vis à vis de ce critère dans les deux études de Bonacci et celle de Bramah. Cela nous amène donc à supposer son non-respect. L'étude de Dos Santos, quant à elle, énonce explicitement que les sujets et le chercheur examinateur n'ont pas été aveuglés lors de l'essai clinique. Par conséquent, en raison de l'absence d'aveugle, les études incluses dans cette revue de littérature peuvent être qualifiées d'essais ouverts.

Or, l'insu est souvent difficile voire impossible à appliquer dans les essais cliniques non pharmacologiques (87). En effet, dans les études, les interventions proposées de nature très distinctes sont non dissimulables. Il est alors aisé de reconnaître un changement de chaussures et différentes consignes de rééducation du schéma de course. Par ailleurs, pour compenser l'absence d'aveugle, la HAS recommande de privilégier un critère de jugement objectif permettant de réduire le biais d'évaluation. Ce risque de biais est donc majoré dans les deux études identifiées avec des critères de jugement subjectifs (douleur et fonction) (75,76). En effet, dans ce contexte clinique, l'effet placebo consécutif à l'interaction entre les participants et les chercheurs ne peut être ignoré. Enfin, d'après la HAS, les essais en ouverts surestiment la taille de l'effet par rapport à ceux conçus en double aveugle. Par conséquent, l'interprétation des résultats doit se faire avec prudence en raison des différents biais exposés.

6.1.2.6 Les sorties d'études

Parmi les études sélectionnées, seule celle de Bramah et al recense la perte de deux participants. Ces derniers ont abandonné l'essai entre le suivi de 4 semaines et 3 mois. Plus précisément, le premier a été perdu de vue et le second a développé une fracture de stress tibiale engendrant son arrêt prématuré au sein de l'étude. Celui-ci a déclaré sa blessure après une augmentation intense de son volume de course. Effectivement, hormis le respect d'une douleur évaluée à moins de 3/10 sur l'EN, aucune restriction des paramètres d'entraînements n'avait été imposée. Ainsi, le traumatisme peut être attribué à un défaut d'entraînement plutôt qu'à l'intervention expérimentée en elle-même. Les auteurs recommandent alors aux futures interventions cliniques de délivrer des conseils spécifiques sur la progression du volume de course afin de réduire le risque de blessure.

Par ailleurs, ces deux sorties d'étude peuvent représenter un biais d'attrition. Néanmoins, pour pallier à ce biais, l'analyse statistique des résultats s'est faite en intention de traiter permettant d'inclure les données manquantes dans l'analyse finale. Cette méthode conservatrice est à privilégier puisqu'elle reflète l'efficacité clinique de l'intervention dans la réalité quotidienne.

6.1.2.7 Modalités des protocoles d'interventions

Plusieurs limites sont associées à la durée de suivi des protocoles. Tout d'abord, les deux études de Bonacci mesurent uniquement l'effet immédiat de leurs interventions. Afin de savoir si les effets sont conservés au cours du temps, des études longitudinales sont nécessaires. De plus, l'étude de Dos Santos n'effectue pas d'évaluation biomécanique à 6 mois de suivi. Or, cette absence d'analyse empêche de savoir si les participants ont maintenu leurs nouveaux schémas de course.

Enfin, les études de Bramah et Dos Santos évaluent les critères cliniques, à 3 et 6 mois, respectivement. Malgré une durée de suivi sur le moyen terme, de futures études sur le long terme seraient pertinentes afin de confirmer et valider les résultats obtenus.

Les différents types de chaussures utilisées peuvent également constituer des biais lors de l'interprétation. Tout d'abord, dans les études de Bonacci, afin de standardiser les résultats, des chaussures contrôles avec un drop de 11 mm assimilables à la catégorie maximaliste ont été imposées, en ne prenant en compte ni le type de pied ni les chaussures habituelles des participants. De plus, l'étude de Dos Santos a également imposé le port de chaussures standardisées lors de l'analyse initiale. En revanche, les coureurs devaient porter leurs propres paires lors du protocole de réentraînement. Enfin, les participants de l'étude de Bramah portaient leurs chaussures habituelles. Or, d'après une récente revue systématique (88), les différentes caractéristiques des chaussures (drop, rigidité etc...) peuvent influencer la biomécanique de la course à pied. Par conséquent, suivant le type de chaussures utilisées, les résultats peuvent fluctuer. Ce risque de biais nous invite donc à généraliser les résultats avec précaution.

Certaines études (73,75,76) évaluent leurs interventions à une vitesse choisie par les participants. Dos Santos et al. précisent cette vitesse en prenant la moyenne sur une course de 30 minutes. Bramah indique seulement de maintenir une vitesse constante au cours de la séance de rééducation. L'étude de Bonacci 2020, quant à elle, ne délivre aucun renseignement. Or, la vitesse de course peut modifier les données biomécaniques du schéma de course (89). Ainsi, ce paramètre peut potentiellement biaiser les résultats trouvés.

L'analyse des paramètres mesurés s'est effectuée sur un tapis roulant instrumentale pour l'ensemble des études. Or, une revue systématique de la littérature s'est penchée sur la comparaison des paramètres biomécaniques de la course sur tapis roulant par rapport à la course sur sol (90). D'après cette recherche, les mesures spatio-temporelles, cinématiques, cinétiques et de l'activité musculaire sont aisément comparables entre ces deux environnements de course. Néanmoins, il est important de prendre en considération des différences cinématiques dans le plan sagittal avec notamment une flexion dorsale de cheville et une flexion de genou plus faible sur tapis de course, lors de la phase de réception du pied au sol. Ainsi, bien qu'une corrélation soit acceptable, l'extrapolation des résultats à l'environnement extérieur doit néanmoins se faire avec prudence.

6.2 Analyse et interprétation des résultats

Les résultats des études ont rapporté des différences statistiquement significatives sur certains des paramètres mesurés. Cependant, ces valeurs, à elles seules, ne permettent pas de conclure sur la pertinence clinique des interventions. Pour cela, la taille de l'effet représentant l'importance de l'effet thérapeutique doit être déterminée. Afin d'obtenir cette signification clinique, différents moyens ont été utilisés selon les études, tels que l'effet clinique minimal, le calcul « d de Cohen » et les différences moyennes standardisées. Ainsi, dans une intention d'applicabilité clinique, cette partie sur l'interprétation des résultats abordera notamment la notion de taille de l'effet.

6.2.1 Effets d'une augmentation de 10% de la cadence de course

L'étude de Bonacci 2018 présente une réduction statistiquement significative de l'ensemble des variables mesurées. La signification clinique de ces résultats statistiques est représentée par des estimations ponctuelles de l'effet sous la forme de différences moyennes standardisées (DMS). Plus précisément, l'ampleur de l'effet des interventions par rapport au contrôle est considérée comme faible (0,2-0,6), moyen (0,61-1,2), fort ($> 1,2$). Lors d'une augmentation de la cadence de 10%, une réduction significative du stress maximal fémoro-patellaire avec une taille d'effet moyenne est constatée. Cette diminution de contraintes pourrait être expliquée par la réduction significative de la flexion maximale de genou (avec une taille d'effet faible) pendant la phase d'appui du cycle de course. En effet, bien qu'une diminution de la flexion puisse réduire la surface de contact de l'articulation fémoro-patellaire (38), les forces de réactions réduites significativement (avec une taille d'effet moyenne) pourraient engendrer un moindre stress. Or, malgré une étiologie multifactorielle et controversée du SFP, des preuves bien établies indiquent que les contraintes fémoro-patellaires excessives contribuent à son développement (28). Donc, l'augmentation de la cadence de 10% semble être une stratégie efficace de prévention secondaire du SFP chez les coureurs à pied récréatifs. Cependant, des nouvelles recherches sont indispensables pour évaluer son efficacité sur les critères cliniques.

L'étude de Bonacci 2020 rapporte une augmentation statistiquement significative de la variabilité cinématique et cinétique des membres inférieurs. Afin de donner une correspondance clinique à ces résultats statistiques, les auteurs ont utilisé le coefficient « d de Cohen » qui normalise les différences moyennes par l'écart type. Cet indicateur sur la taille de l'effet est interprété par Cohen de la façon suivante : 0,2-0,49 = effet faible ; 0,5-0,79 = effet moyen ; $\geq 0,8$ = effet élevé (91). Les résultats retrouvés dans cette étude, lors d'une augmentation de la cadence, sont associés à des tailles d'effets élevées.

Néanmoins, les intervalles de confiance encadrant les différences moyennes sont relativement importants. Cela pourrait refléter la faible taille d'échantillon mais également une variation individuelle à considérer lors de la pratique clinique.

En outre, les auteurs suggèrent que cette augmentation de la variabilité des membres inférieurs pourrait améliorer la répartition des contraintes dans l'articulation fémoro-patellaire. Bien qu'un bénéfice biomécanique soit suggéré, de futures recherches sont nécessaires pour déterminer son efficacité sur les symptômes cliniques.

L'étude de Bramah, lors d'une augmentation de 10% de la cadence, rapporte des réductions statistiquement significatives du pic de chute pelvienne controlatérale, du pic d'adduction de hanche et de la flexion maximale de genou, lors du suivi à 4 semaines par rapport à l'analyse initiale. Par l'intermédiaire du calcul « d de Cohen », ces résultats cinématiques sont associés à des tailles d'effets élevées.

Cette étude rapporte également des améliorations statistiquement significatives sur les critères cliniques. Plus précisément, par rapport à la base référence, l'intensité de douleur sur l'échelle EN a été réduite de 5,2 points à 4 semaines et de 5,9 points à 3 mois. Le score LEFS a augmenté de 14,3 points à 4 semaines et 17,4 points à 3 mois. Or, l'effet clinique minimal est de 1,2 points pour le score EN et de 9 points pour le score LEFS (78,92). En dépassant ce seuil, l'amélioration des critères cliniques est donc jugée cliniquement pertinente.

Enfin, ces bénéfices cliniques pourraient être expliqués par les améliorations cinématiques. En effet, l'augmentation du pic d'adduction de hanche et du pic de chute pelvienne controlatérale représentent des facteurs de risques chez les coureurs récréatifs (28). De plus, comme supposé précédemment, la réduction de la flexion maximale de genou pendant la phase d'appui peut entraîner une diminution des contraintes au niveau de l'articulation fémoro-patellaire.

Dos Santos et al., pour le groupe « augmentation de 10% de la cadence », constate une amélioration statistiquement significative uniquement sur les critères cliniques. L'intensité de la douleur mesurée sur l'EVA a réduit de 54% en post-intervention et de 75% à 6 mois de suivi. Ces résultats supérieurs à l'effet clinique minimal pertinent (2 cm sur l'EVA) sont donc cliniquement pertinents avec un effet plus important à 6 mois. De plus, le score AKPS a augmenté de 10,83 points entre l'analyse initiale et le suivi à 6 mois. En dépassant le seuil clinique minimal de 10 points, ce résultat est donc aussi cliniquement utile (93). Cependant, ces importantes améliorations cliniques ne sont pas accompagnées de modifications cinématiques et EMG significatives qui pourraient potentiellement justifier ces bénéfices cliniques.

Une étude de faisabilité, exclue de notre revue de littérature notamment par son design méthodologique, se révèle toutefois intéressante à l'égard de notre question de recherche. En effet, *Neals et al.* ont étudié l'augmentation de 7,5% de la cadence sur 10 coureurs atteints d'une SFP (94). Le protocole de rééducation comprenait 3 séances par semaine pendant 6 semaines, sur tapis roulant à l'aide d'un feedback auditif (métronome). A l'issue de l'intervention, les participants ont montré une réduction cliniquement significative de l'intensité de la douleur maximale sur l'échelle EN, par rapport à l'analyse initiale. De plus, des réductions significatives des pics de flexion de genou, de rotation interne et d'adduction de hanche avec des tailles d'effet modérées à élevées pourraient expliquer ces bénéfices cliniques. Malgré une comparaison difficile entre les études d'un point de vue méthodologique, ces résultats semblent toutefois rejoindre les conclusions précédentes en apportant des preuves et données supplémentaires.

6.2.2 Effets d'une attaque avant-pied et d'une augmentation de flexion de tronc

L'étude de Dos Santos révèle une amélioration des critères cliniques pour deux techniques de course à pied basées sur des modifications cinématiques. En effet, appliqué de façon séparée, une attaque de type avant-pied et une augmentation de la flexion de tronc permettent, respectivement, une amélioration de 16,5 points et de 13 points du score AKPS en post-intervention et maintenue à 6 mois. De plus, ces deux interventions obtiennent une réduction similaire de 54% en post-intervention et 75% à 6 mois de suivi, de l'intensité de la douleur sur l'EVA. En se référant au seuil clinique minimal de ces deux échelles décrit précédemment, les bénéfices sont cliniquement pertinents. En revanche, pour ces deux interventions, malgré des améliorations statistiquement significatives du score LEFS, ces augmentations ne dépassent pas les 9 points requis pour un effet cliniquement pertinent.

Ces améliorations cliniques ne sont pas associées à des modifications significatives des paramètres biomécaniques qui pourraient expliquer l'ampleur de ces bénéfices. En effet, excepté les améliorations cinématiques significatives dues aux spécificités des instructions verbales sur les techniques de course telles qu'une augmentation de la flexion plantaire et du tronc, aucune différence cinématique significative n'est constatée. Par exemple, l'attaque avant-pied présente une augmentation non significative de 4,04 degrés de flexion de genou lors de la phase de réception du pied. Or, d'après Lieberman, une augmentation de la flexion de genou au premier contact du pied entraîne une meilleure répartition des contraintes dans le genou (22). En ce sens, de faibles modifications cinématiques même non significatives pourraient potentiellement affecter la cinétique et les forces de réactions de l'articulation fémoro-patellaire. Ainsi, d'autres paramètres biomécaniques tels qu'une analyse des contraintes fémoro-patellaires, pourrait être évaluée afin de donner une éventuelle explication quant à l'ampleur des effets cliniques constatés.

Enfin, pour la condition « attaque avant-pied », nous émettons l'hypothèse que l'augmentation significative de la pré-activation du gastrocnémien médian et du droit fémoral pourrait notamment contribuer à amortir les forces d'impacts au sol pendant la course. Cependant, les bénéfices de cette technique de course restent controversés et à nuancer avec les potentiels risques de blessures. En effet, d'après deux récentes revues systématiques, malgré une diminution des contraintes exercées sur l'articulation fémoro-patellaire, l'augmentation des charges biomécaniques sur la cheville pourrait provoquer d'éventuelles blessures, particulièrement des tendinopathies d'Achille (95,96). Concernant ce risque, l'étude Dos Santos mentionne qu'il n'était pas possible de savoir si les participants avaient eu de nouvelles lésions en raison de l'absence d'analyse biomécanique à 6 mois de suivi.

6.2.3 Effets de l'utilisation de chaussures minimalistes

L'étude de Bonacci 2018, lors de l'utilisation de chaussures minimalistes, a montré une réduction statistiquement significative de l'ensemble des variables mesurées avec notamment une taille d'effet moyenne pour la diminution du stress fémoro-patellaire. Au vu de la similarité des résultats obtenus entre les deux interventions « chaussures minimalistes » et « augmentation de la cadence 10% », l'interprétation des résultats semble se rejoindre.

L'étude de Bonacci 2020, lors de l'utilisation de chaussures minimalistes, a constaté une augmentation statistiquement significative uniquement pour la variabilité cinétique. Par ailleurs, les tailles d'effet se sont révélées moyennes pour les moments de hanche dans un plan transversal et de genou dans un plan frontal et élevées pour les moments du genou dans un plan transversal. Ainsi, à l'instar des conclusions menées par Bonacci et al. lors d'une hausse de la cadence de 10%, une plus grande variabilité cinétique pourrait être bénéfique pour réduire les contraintes exercées au niveau de l'articulation fémoro-patellaire grâce à une plus grande répartition des schémas de force. Des recherches supplémentaires sont toutefois nécessaires pour confirmer cette hypothèse et évaluer son efficacité sur les critères cliniques.

Une étude d'Esculier et Dubois et al. a évalué le lien entre les caractéristiques des chaussures et la biomécanique de course chez les coureurs atteints de SFP (97). Les résultats suggèrent qu'un indice minimaliste élevé est associé à une diminution de la dorsiflexion au contact initial du pied, une réduction de la force maximale fémoro-patellaire et une augmentation de la cadence. Ainsi, l'utilisation de chaussures minimalistes pourrait faciliter la mise en œuvre et le maintien des interventions de rééducation chez les coureurs atteints de SFP.

Cependant, les bénéfices d'un changement de chaussures restent à nuancer. D'après une revue systématique, une transition brutale vers les chaussures minimalistes peut augmenter le risque de blessures (98). Actuellement, aucun consensus n'existe sur les stratégies optimales de ce changement. Toutefois, cette revue suggère qu'une transition progressive d'au moins 4 à 8 semaines devrait être réalisée afin de respecter les capacités d'adaptations musculaires du corps.

6.3 Applicabilité clinique

Dans l'ensemble, les résultats des interventions sont cliniquement pertinents avec des tailles d'effets moyennes à élevées sur les paramètres biomécaniques et/ou des critères cliniques dépassant le seuil clinique minimal. Cette appréciation de la taille de l'effet nous donne une première indication en terme d'applicabilité clinique. Toutefois, afin d'envisager une mise en situation réelle, les rapports bénéfices/risques et coût/efficacité sont deux autres notions essentielles à prendre en compte.

6.3.1 Rapport bénéfices/risques

Des bénéfices biomécaniques et cliniques ont été présentés précédemment pour une augmentation de la cadence de 10%. A la suite de cette intervention, aucun risque n'a été recensé parmi les études incluses. Or, au vu des petites tailles d'échantillons et des biais méthodologiques, nous ne sommes pas en mesure d'exclure une absence de risques éventuels. Néanmoins, ces données actuelles de la littérature nous amènent à conclure que cette intervention semble induire un rapport bénéfices/risques favorable.

Des techniques de course basées sur des modifications cinématiques présentent également des bénéfices biomécaniques et cliniques. En revanche, des potentiels risques de blessures secondaires à un changement du schéma d'attaque du pied sont décrits. Bien qu'une transition progressive puisse réduire ce risque, l'applicabilité clinique reste à nuancer. De même, malgré des bénéfices biomécaniques liés à l'utilisation de chaussures minimalistes, le risque de blessures peut augmenter, suite à une transition brutale. Les conclusions rejoignent donc celles menées ci-dessus pour une foulée avant-pied.

6.3.2 Rapport coût/efficacité

Les protocoles de modifications du schéma de course nécessitent généralement une supervision clinique étroite et sont limités au laboratoire d'analyse de course. En ce sens, le coût financier important engendré par le matériel nécessaire, notamment un système d'analyse vidéo 3D, semble difficilement applicable en cabinet. Or, d'après une revue systématique, l'analyse vidéo 2D s'avère être une méthode fiable et valide pour évaluer le schéma d'attaque du pied et la cadence de course (99).

Par ailleurs, les études sélectionnées révèlent qu'une modification du schéma de course est envisageable en clinique par l'intermédiaire d'un métronome ou d'instructions verbales. De plus, dans l'étude de Bramah, les participants ont reçu des instructions pour s'auto-administrer et surveiller eux-mêmes leurs cadences à l'aide d'une application métronome et d'une montre GPS (75). Cela suggère également une mise en œuvre réalisable et facilitée dans la pratique sportive quotidienne des patients. Ainsi, malgré le coût de l'investissement d'un tapis de course et d'un système d'analyse vidéo 2D, une rééducation du schéma de course basée sur des feedback auditifs ou verbaux pourrait s'intégrer facilement en pratique clinique avec un rapport coût/efficacité favorable. Cependant, au regard du rapport bénéfices/risques, une augmentation de la cadence de course serait à privilégier sur un changement du schéma d'attaque du pied.

Le changement de catégorie de chaussures vers un indice minimaliste plus élevé représente un coût financier pour le patient. A cela, s'ajoutent les éventuels risques de blessures secondaires suite à une transition non progressive. Dans ce contexte, les conseils dispensés par le MK sur l'utilisation de chaussures minimalistes se devraient d'être nuancés au regard d'une applicabilité clinique controversée.

Enfin, comme exposés dans le cadre conceptuel, le renforcement musculaire et l'éducation des patients peuvent s'apparenter à des moyens de prévention secondaire du SFP chez les coureurs récréatifs. En présentant des rapports bénéfices/risques et coût/efficacité en leurs faveurs, ces interventions peuvent aisément être appliquées en pratique clinique.

6.4 Perspectives

6.4.1 Futures recherches

Les études incluses dans cette revue de littérature ont permis d'apporter des preuves supplémentaires sur les moyens d'interventions de prévention secondaire du SFP chez le coureur à pied récréatif. Néanmoins, compte tenu des limites et biais méthodologiques identifiés, de futures recherches telles que des ECR d'un niveau élevé de qualité méthodologique sont indispensables afin de confirmer et valider les résultats.

Par ailleurs, à l'issue du processus de recherche documentaire, aucun article spécifique au renforcement musculaire ou à l'éducation du SFP chez le coureur à pied récréatif n'en est ressorti. Or, comme évoqué dans le cadre conceptuel, le guide des recommandations révèle une insuffisance littéraire à l'égard de ces types d'interventions spécifiques à la course à pied. Ainsi, les préconisations des auteurs sur la nécessité de futures recherches de haute qualité restent à l'heure actuelle inchangées.

6.4.2 Pratique clinique professionnelle : modèle biopsychosocial

Notre travail de recherche s'est particulièrement centré sur le versant biologique de la pathologie. Or, réduire l'activité du MK à cette dimension serait négliger les aspects psychologiques et sociaux inscrits dans l'article R4321-2 du code de la santé publique (100). Par conséquent, dans un contexte de pratique clinique professionnelle, la prise en charge spécifique à la prévention secondaire du SFP chez le coureur récréatif devrait s'inscrire dans une dynamique biopsychosociale (101). Cette approche permet de considérer l'ensemble des caractéristiques du patient afin d'optimiser la prise en charge. En effet, l'étiologie du SFP est une interaction complexe entre divers facteurs anatomiques, biomécaniques, psychologiques, sociales et comportementales. Ainsi, en se focalisant sur un unique versant, le modèle pathomécanique décrit par Powers en offre une vision réduite (45). Cependant, au vu de la quantité et qualité des recherches dans les facteurs de risques non patho-mécaniques, les auteurs prévoient de le ré-actualiser lors des futures déclarations de consensus internationales du SFP. En effet, l'anxiété, le catastrophisme, et la kinésiophobie seraient fortement associés à l'intensité de la douleur et aux capacités fonctionnelles chez les patients souffrant d'un SFP (102).

6.4.3 Prévention primaire

Une récente revue systématique avec méta-analyse a évalué l'efficacité des interventions de prévention primaire du SFP (103). Parmi les treize ECR inclus, deux d'entre eux ont étudié spécifiquement la course à pied.

L'étude de Ramskov et al, incluant 447 coureurs récréatifs sur une durée de 24 semaines, a évalué l'efficacité d'un programme de course axé sur l'intensité (progression du pourcentage de course hebdomadaire à une intensité élevée $\geq 88\%$ de la VO_2 maximale) par rapport à un programme axé sur le volume (progression du nombre total de kilomètres hebdomadaires) (104). Les résultats ne révèlent pas de différences significatives sur le risque de blessures notamment du SFP entre les deux programmes. Ainsi, en l'absence de preuves supplémentaires de haute qualité, un programme basé sur l'intensité de course ne devrait pas être préconisé pour diminuer le risque de SFP.

L'étude de Chan et al. a évalué, sur un total de 320 coureurs novices, l'efficacité d'un programme de rééducation de course de 8 séances sur 2 semaines basé sur des instructions verbales « courir plus léger » afin de réduire l'amplitude du pic d'impact verticale de la force de réaction au sol (105). Lors d'un suivi à 12 mois, le risque de développer un SFP était réduit de 79% dans le groupe expérimental (rééducation de la course) par rapport au groupe contrôle. Cependant, malgré ce bénéfice, la technique de course expérimentée était associée à une augmentation du taux d'incidence d'autres blessures de surutilisation telles que des tendinopathies d'Achille et des périostites tibiales. Cela souligne donc le risque potentiel d'une modification du schéma de course non progressive.

7. Conclusion

La réalisation de cette revue de littérature a permis d'enrichir et d'actualiser les données scientifiques issues du guide de recommandations de Willy RW et al., spécifiquement sur les moyens d'interventions de prévention secondaire du SFP chez le coureur à pied récréatif.

Les études incluses au sein de cette revue ont principalement apporté des preuves supplémentaires sur les interventions visant à modifier le schéma de course « running gait retraining ». Ainsi, au regard des rapports bénéfices/risques et coût/efficacité favorables, l'augmentation de la cadence de course pourrait s'intégrer facilement en pratique clinique à un stade précoce de la pathologie. Par ailleurs, cette intervention serait à privilégier sur un changement du schéma d'attaque du pied au sol. En effet, l'applicabilité clinique d'une technique avant-pied reste à nuancer en raison des potentiels risques de blessures secondaires en particulier à la cheville. A l'heure actuelle, l'utilisation de chaussures minimalistes reste un sujet controversé. Bien que des bénéfices biomécaniques soient suggérés, une transition non progressive pourrait augmenter le risque de blessures secondaires, en raison d'un dépassement des capacités d'adaptations maximales des structures musculo-squelettiques du corps.

Cependant, ce travail de recherche doit prendre en considération plusieurs limites et biais identifiés. Ces derniers, notamment attribuables aux études incluses, peuvent diminuer la fiabilité scientifique des résultats. En ce sens, de futures recherches d'un niveau de preuve et de qualité méthodologique élevés sont indispensables afin de confirmer et valider ces résultats.

Notre stratégie de recherche scientifique n'a recensé aucun article sur le renforcement musculaire ou sur l'éducation du SFP chez le coureur à pied récréatif. Au vu du manque de littérature de ces interventions spécifiques à la course à pied, de futures recherches sont préconisées afin d'enrichir les données existantes. Toutefois, il convient de préciser que ces interventions de prévention secondaire peuvent aisément être intégrées en pratique clinique, compte tenu de rapports bénéfices/risques et coût/efficacité en leurs faveurs.

Enfin, bien que ce travail de recherche soulève principalement la dimension biomécanique de la pathologie, les facteurs psychologiques et sociaux représentent également des notions fondamentales. Par conséquent, dans un contexte de pratique clinique professionnelle, la prise en charge spécifique de prévention secondaire du SFP chez le coureur à pied récréatif doit être envisagée selon une approche biopsychosociale.

Références bibliographiques

1. Massardier V, Vazquez H. Les stratégies d'organisation des courses « hors stade » : un enjeu clé pour le développement du running. Ministère des Sports; 2019.
2. Foirien R, Zimmer C. Les chiffres clés du sport 2020. INJEP, Ministère des Sports; 2020.
3. van Gent RN, Siem D, van Middelkoop M, van Os AG, Bierma-Zeinstra SMA, Koes BW. Incidence and determinants of lower extremity running injuries in long distance runners: a systematic review. *Br J Sports Med*. août 2007;41(8):469-80.
4. Francis P, Whatman C, Sheerin K, Hume P, Johnson MI. The Proportion of Lower Limb Running Injuries by Gender, Anatomical Location and Specific Pathology: A Systematic Review. *J Sports Sci Med*. mars 2019;18(1):21-31.
5. Crossley KM, van Middelkoop M, Barton CJ, Culvenor AG. Rethinking patellofemoral pain: Prevention, management and long-term consequences. *Best Pract Res Clin Rheumatol*. 1 févr 2019;33(1):48-65.
6. Hespanhol Junior LC, van Mechelen W, Postuma E, Verhagen E. Health and economic burden of running-related injuries in runners training for an event: A prospective cohort study. *Scand J Med Sci Sports*. sept 2016;26(9):1091-9.
7. Philipe E, Buzyn A. Stratégie de transformation du système de santé. Ministère des Solidarités et de la Santé; 2018 févr.
8. Willy RW, Hoglund LT, Barton CJ, Bolgla LA, Scalzitti DA, Logerstedt DS, et al. Patellofemoral Pain : Clinical Practice Guidelines Linked to the International Classification Of Functioning, Disability and Health From the Academy of Orthopaedic Physical Therapy of the American Physical Therapy Association. *J Orthop Sports Phys Ther*. sept 2019;49(9):CPG1-95.
9. Croutte P, Müller J. Baromètre national des pratiques sportives 2020, avec le concours d'A. Baron et R. Brosseau, sous la direction de S. Hoiban (CREDOC), INJEP Rapport d'étude; 2021
10. La Licence | Fédération Française d'Athlétisme [Internet]. [cité 27 avr 2021]. Disponible sur: <https://www.athle.fr/asp.net/main.html/html.aspx?htmlid=577>
11. Organisation mondiale de la santé. Recommandations mondiales sur l'activité physique pour la santé. Genève: OMS; 2010.
12. Videbæk S, Bueno AM, Nielsen RO, Rasmussen S. Incidence of Running-Related Injuries Per 1000 h of running in Different Types of Runners: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med Auckl NZ*. juill 2015;45(7):1017-26.

13. Kluitenberg B, van Middelkoop M, Diercks R, van der Worp H. What are the Differences in Injury Proportions Between Different Populations of Runners? A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med Auckl NZ*. août 2015;45(8):1143-61.
14. Hespanhol Junior LC, Pena Costa LO, Lopes AD. Previous injuries and some training characteristics predict running-related injuries in recreational runners: a prospective cohort study. *J Physiother*. déc 2013;59(4):263-9.
15. Lacouture P, Colloud F, Decatoire A, Monnet T. Biomécanique de la course à pied. *Rev Encycl Chir*. 1 avr 2013;9:22.
16. Dugan SA, Bhat KP. Biomechanics and analysis of running gait. *Phys Med Rehabil Clin N Am*. août 2005;16(3):603-21.
17. Novacheck null. The biomechanics of running. *Gait Posture*. 1 janv 1998;7(1):77-95.
18. Hanon C. Activité musculaire des membres inférieurs en course pied sur le plat. 2005;
19. Almeida MO, Davis IS, Lopes AD. Biomechanical Differences of Foot-Strike Patterns During Running: A Systematic Review With Meta-analysis. *J Orthop Sports Phys Ther*. oct 2015;45(10):738-55.
20. Lieberman DE, Venkadesan M, Werbel WA, Daoud AI, D'Andrea S, Davis IS, et al. Foot strike patterns and collision forces in habitually barefoot versus shod runners. *Nature*. 28 janv 2010;463(7280):531-5.
21. Cheung RTH, Wong RYL, Chung TKW, Choi RT, Leung WWY, Shek DHY. Relationship between foot strike pattern, running speed, and footwear condition in recreational distance runners. *Sports Biomech*. juin 2017;16(2):238-47.
22. Lieberman DE. What we can learn about running from barefoot running: an evolutionary medical perspective. *Exerc Sport Sci Rev*. avr 2012;40(2):63-72.
23. Kulmala J-P, Avela J, Pasanen K, Parkkari J. Forefoot strikers exhibit lower running-induced knee loading than rearfoot strikers. *Med Sci Sports Exerc*. déc 2013;45(12):2306-13.
24. Marchena-Rodriguez A, Ortega-Avila AB, Cervera-Garvi P, Cabello-Manrique D, Gijon-Nogueron G. Review of Terms and Definitions Used in Descriptions of Running Shoes. *Int J Environ Res Public Health*. 19 mai 2020;17(10).
25. Esculier J-F, Dubois B, Dionne CE, Leblond J, Roy J-S. A consensus definition and rating scale for minimalist shoes. *J Foot Ankle Res*. 2015;8:42.
26. Esculier J-F, Dubois B, Roy J-S, Dionne CE. Minimalist Index rating scale. 2014.

27. Yamato TP, Saragiotto BT, Lopes AD. A consensus definition of running-related injury in recreational runners: a modified Delphi approach. *J Orthop Sports Phys Ther.* mai 2015;45(5):375-80.
28. Neal BS, Barton CJ, Gallie R, O'Halloran P, Morrissey D. Runners with patellofemoral pain have altered biomechanics which targeted interventions can modify: A systematic review and meta-analysis. *Gait Posture.* mars 2016;45:69-82.
29. Lopes AD, Hespanhol Júnior LC, Yeung SS, Costa LOP. What are the main running-related musculoskeletal injuries? A Systematic Review. *Sports Med Auckl NZ.* 1 oct 2012;42(10):891-905.
30. Bertelsen ML, Hulme A, Petersen J, Brund RK, Sørensen H, Finch CF, et al. A framework for the etiology of running-related injuries. *Scand J Med Sci Sports.* nov 2017;27(11):1170-80.
31. Taunton JE, Ryan MB, Clement DB, McKenzie DC, Lloyd-Smith DR, Zumbo BD. A retrospective case-control analysis of 2002 running injuries. *Br J Sports Med.* avr 2002;36(2):95-101.
32. Nielsen RO, Rønnow L, Rasmussen S, Lind M. A prospective study on time to recovery in 254 injured novice runners. *PloS One.* 2014;9(6):e99877.
33. Edouard P, Serra J-M, Cugy E, Morel N, Hertert P, Dolin R, et al. Prévention des blessures en athlétisme : démarche scientifique par application du modèle de van Mechelen en quatre étapes. *J Traumatol Sport.* mars 2016;33(1):34-42.
34. Drake RL, Vogl AW, Mitchell A, Duparc F, Duparc J. *Gray's Anatomie pour les étudiants.* 3e édition. Elsevier Masson; 2015. 1128 p.
35. Dufour M, Langlois K, Pillu M, Acedo SDV. *Biomécanique fonctionnelle: Membres - Tête - Tronc.* 2e édition. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson; 2017. 568 p.
36. Dufour M. *Anatomie de l'appareil locomoteur-Tome 1 Membre inférieur: Membre inférieur.* 3e édition. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson; 2015. 552 p.
37. Kapandji A-I, Judet T. *Anatomie fonctionnelle : Tome 2, Membre inférieur.* 7e édition. Maloine; 2018. 324 p.
38. Loudon JK. BIOMECHANICS AND PATHOMECHANICS OF THE PATELLOFEMORAL JOINT. *Int J Sports Phys Ther.* déc 2016;11(6):820-30.
39. Crossley KM, Stefanik JJ, Selfe J, Collins NJ, Davis IS, Powers CM, 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. *Br J Sports Med.* juill 2016;50(14):839-43.

40. Nunes GS, Stapait EL, Kirsten MH, de Noronha M, Santos GM. Clinical test for diagnosis of patellofemoral pain syndrome: Systematic review with meta-analysis. *Phys Ther Sport Off J Assoc Chart Physiother Sports Med*. févr 2013;14(1):54-9.
41. Cook C, Mabry L, Reiman MP, Hegedus EJ. Best tests/clinical findings for screening and diagnosis of patellofemoral pain syndrome: a systematic review. *Physiotherapy*. juin 2012;98(2):93-100.
42. Vora M, Curry E, Chipman A, Matzkin E, Li X. Patellofemoral pain syndrome in female athletes: A review of diagnoses, etiology and treatment options. *Orthop Rev*. 14 déc 2017;9(4):7281.
43. Bump JM, Lewis L. Patellofemoral Syndrome. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2021 [cité 14 avr 2021]. Disponible sur: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK557657/>
44. Smith BE, Selfe J, Thacker D, Hendrick P, Bateman M, Moffatt F, et al. Incidence and prevalence of patellofemoral pain: A systematic review and meta-analysis. *PloS One*. 2018;13(1):e0190892.
45. Powers CM, Witvrouw E, Davis IS, Crossley KM. 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. *Br J Sports Med*. déc 2017;51(24):1713-23.
46. Ceyssens L, Vanelderen R, Barton C, Malliaras P, Dingenen B. Biomechanical Risk Factors Associated with Running-Related Injuries: A Systematic Review. *Sports Med Auckl NZ*. juill 2019;49(7):1095-115.
47. Bramah C, Preece SJ, Gill N, Herrington L. Is There a Pathological Gait Associated With Common Soft Tissue Running Injuries? *Am J Sports Med*. oct 2018;46(12):3023-31.
48. Hamill J, Palmer C, Van Emmerik REA. Coordinative variability and overuse injury. *Sports Med Arthrosc Rehabil Ther Technol SMARTT*. 27 nov 2012;4:45.
49. Heiderscheit BC, Hamill J, van Emmerik REA. Variability of Stride Characteristics and Joint Coordination among Individuals with Unilateral Patellofemoral Pain. *J Appl Biomech*. mai 2002;18(2):110-21.
50. Liao T-C, Yang N, Ho K-Y, Farrokhi S, Powers CM. Femur Rotation Increases Patella Cartilage Stress in Females with Patellofemoral Pain. *Med Sci Sports Exerc*. sept 2015;47(9):1775-80.
51. Noehren B, Hamill J, Davis I. Prospective evidence for a hip etiology in patellofemoral pain. *Med Sci Sports Exerc*. juin 2013;45(6):1120-4.

52. Thijs Y, De Clercq D, Roosen P, Witvrouw E. Gait-related intrinsic risk factors for patellofemoral pain in novice recreational runners. *Br J Sports Med.* juin 2008;42(6):466-71.
53. Dowling GJ, Murley GS, Munteanu SE, Smith MMF, Neal BS, Griffiths IB, et al. Dynamic foot function as a risk factor for lower limb overuse injury: a systematic review. *J Foot Ankle Res.* 2014;7(1):53.
54. Ramskov D, Barton C, Nielsen RO, Rasmussen S. High eccentric hip abduction strength reduces the risk of developing patellofemoral pain among novice runners initiating a self-structured running program: a 1-year observational study. *J Orthop Sports Phys Ther.* mars 2015;45(3):153-61.
55. Neal BS, Lack SD, Lankhorst NE, Raye A, Morrissey D, van Middelkoop M. Risk factors for patellofemoral pain: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med.* mars 2019;53(5):270-81.
56. Schubert AG, Kempf J, Heiderscheid BC. Influence of stride frequency and length on running mechanics: a systematic review. *Sports Health.* mai 2014;6(3):210-7.
57. Brindle RA, Taylor JB, Rajek C, Weisbrod A, Ford KR. Association Between Temporal Spatial Parameters and Overuse Injury History in Runners: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Med Auckl NZ.* févr 2020;50(2):331-42.
58. Sisk D, Fredericson M. Update of Risk Factors, Diagnosis, and Management of Patellofemoral Pain. *Curr Rev Musculoskelet Med.* déc 2019;12(4):534-41.
59. Flajolet A. Annexe 1 - La prévention : définitions et comparaisons. Ministère des Solidarités et de la Santé; 2008.
60. van Mechelen W, Hlobil H, Kemper HC. Incidence, severity, aetiology and prevention of sports injuries. A review of concepts. *Sports Med Auckl NZ.* août 1992;14(2):82-99.
61. Finch C. A new framework for research leading to sports injury prevention. *J Sci Med Sport.* mai 2006;9(1-2):3-9; discussion 10.
62. Article L4321-1 - Code de la santé publique - Légifrance [Internet]. [cité 28 avr 2021]. Disponible sur:
https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000031930031/
63. Arrêté du 2 septembre 2015 relatif au diplôme d'Etat de masseur-kinésithérapeute (JORF n°0204 du 4 septembre 2015) NOR : AFSH1516238A. BO Santé - Protection sociale - Solidarité n°2015/8 du 15 septembre 2015.

64. Lankhorst NE, van Middelkoop M, Crossley KM, Bierma-Zeinstra SMA, Oei EHG, Vicenzino B, et al. Factors that predict a poor outcome 5-8 years after the diagnosis of patellofemoral pain: a multicentre observational analysis. *Br J Sports Med.* juill 2016;50(14):881-6.
65. Collins NJ, Barton CJ, van Middelkoop M, Callaghan MJ, Rathleff MS, Vicenzino BT, 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. *Br J Sports Med.* sept 2018;52(18):1170-8.
66. Roper JL, Harding EM, Doerfler D, Dexter JG, Kravitz L, Dufek JS, et al. The effects of gait retraining in runners with patellofemoral pain: A randomized trial. *Clin Biomech Bristol Avon.* juin 2016;35:14-22.
67. Bonacci J, Hall M, Saunders N, Vicenzino B. Gait retraining versus foot orthoses for patellofemoral pain: a pilot randomised clinical trial. *J Sci Med Sport.* mai 2018;21(5):457-61.
68. 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. *Br J Sports Med.* juill 2011;45(9):691-6.
69. Willy RW, Scholz JP, Davis IS. Mirror gait retraining for the treatment of patellofemoral pain in female runners. *Clin Biomech Bristol Avon.* déc 2012;27(10):1045-51.
70. Esculier J-F, Bouyer LJ, Dubois B, Fremont P, Moore L, McFadyen 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. *Br J Sports Med.* mai 2018;52(10):659-66.
71. Shimberg Health Sciences Library. Physical Therapy Library Guide : Levels of Evidence [Internet]. [cité 28 avr 2021]. Disponible sur: <https://guides.lib.usf.edu/c.php?g=237761&p=1597935>
72. Gedda M. Traduction française des lignes directrices PRISMA pour l'écriture et la lecture des revues systématiques et des méta-analyses. *Kinésithérapie Rev.* janv 2015;15(157):39-44.
73. Bonacci J, Hall M, Fox A, Saunders N, Shippides T, Vicenzino B. The influence of cadence and shoes on patellofemoral joint kinetics in runners with patellofemoral pain. *J Sci Med Sport.* juin 2018;21(6):574-8.
74. Bonacci J, Fox A, Hall M, Fuller JT, Vicenzino B. Footwear and Cadence Affect Gait Variability in Runners with Patellofemoral Pain. *Med Sci Sports Exerc.* juin 2020;52(6):1354-60.

75. Bramah C, Preece SJ, Gill N, Herrington L. A 10% Increase in Step Rate Improves Running Kinematics and Clinical Outcomes in Runners With Patellofemoral Pain at 4 Weeks and 3 Months. *Am J Sports Med.* déc 2019;47(14):3406-13.
76. Dos Santos AF, Nakagawa TH, Lessi GC, Luz BC, Matsuo HTM, Nakashima GY, et al. Effects of three gait retraining techniques in runners with patellofemoral pain. *Phys Ther Sport Off J Assoc Chart Physiother Sports Med.* mars 2019;36:92-100.
77. Kujala UM, Jaakkola LH, Koskinen SK, Taimela S, Hurme M, Nelimarkka O. Scoring of patellofemoral disorders. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc.* 1993;9(2):159-63.
78. Binkley JM, Stratford PW, Lott SA, Riddle DL. The Lower Extremity Functional Scale (LEFS): scale development, measurement properties, and clinical application. North American Orthopaedic Rehabilitation Research Network. *Phys Ther.* avr 1999;79(4):371-83.
79. Oxford Centre for Evidence-Based Medicine : levels of evidence (march 2009) [Internet]. [cité 28 avr 2021]. Disponible sur: <https://www.cebm.net/>
80. Brosseau L, Laroche C, Sutton A, Guitard P, King J, Poitras S, et al. Une version franco-canadienne de la Physiotherapy Evidence Database (PEDro) Scale : L'Échelle PEDro. *Physiother Can.* août 2015;67(3):232-9.
81. Maher CG, Sherrington C, Herbert RD, Moseley AM, Elkins M. Reliability of the PEDro scale for rating quality of randomized controlled trials. *Phys Ther.* août 2003;83(8):713-21.
82. National Heart, Lung, and Blood Institute NHLBI, NIH. Quality Assessment Tool for Case Series Studies [Internet]. [cité 28 avr 2021]. Disponible sur: <https://www.nhlbi.nih.gov/health-topics/study-quality-assessment-tools>
83. Brosseau L, Laroche C, Guitard P, King J, Poitras S, Casimiro L, et al. La version franco-canadienne de l'outil Assessment of Multiple Systematic Reviews (AMSTAR). *Physiother Can.* 2017;69(1):20-9.
84. Chevalier P, van Driel M, Vermeire E. Hétérogénéité dans les synthèses méthodiques et méta-analyses. *Minerva Evidence Based Practice.* déc 2007;1.
85. van Poppel D, van der Worp M, Slabbekoorn A, van den Heuvel SSP, van Middelkoop M, Koes BW, et al. Risk factors for overuse injuries in short- and long-distance running: A systematic review. *J Sport Health Sci.* janv 2021;10(1):14-28.
86. Boling MC, Nguyen A-D, Padua DA, Cameron KL, Beutler A, Marshall SW. Gender-Specific Risk Factor Profiles for Patellofemoral Pain. *Clin J Sport Med Off J Can Acad Sport Med.* janv 2021;31(1):49-56.

87. Fournel I, Vaneau M. Guide méthodologique pour le développement clinique des dispositifs médicaux. Haute Autorité de Santé (HAS); 2013 oct.
88. Sun X, Lam W-K, Zhang X, Wang J, Fu W. Systematic Review of the Role of Footwear Constructions in Running Biomechanics: Implications for Running-Related Injury and Performance. *J Sports Sci Med*. mars 2020;19(1):20-37.
89. Jin L, Hahn ME. Modulation of lower extremity joint stiffness, work and power at different walking and running speeds. *Hum Mov Sci*. avr 2018;58:1-9.
90. Van Hooren B, Fuller JT, Buckley JD, Miller JR, Sewell K, Rao G, et al. Is Motorized Treadmill Running Biomechanically Comparable to Overground Running? A Systematic Review and Meta-Analysis of Cross-Over Studies. *Sports Med Auckl NZ*. avr 2020;50(4):785-813.
91. Cohen J. Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences. 1988. 2nd ed. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates; 1988. p.40.
92. Piva SR, Gil AB, Moore CG, Fitzgerald GK. Responsiveness of the activities of daily living scale of the knee outcome survey and numeric pain rating scale in patients with patellofemoral pain. *J Rehabil Med*. févr 2009;41(3):129-35.
93. Crossley KM, Bennell KL, Cowan SM, Green S. Analysis of outcome measures for persons with patellofemoral pain: which are reliable and valid? *Arch Phys Med Rehabil*. mai 2004;85(5):815-22.
94. Neal BS, Barton CJ, Birn-Jeffrey A, Daley M, Morrissey D. The effects & mechanisms of increasing running step rate: A feasibility study in a mixed-sex group of runners with patellofemoral pain. *Phys Ther Sport Off J Assoc Chart Physiother Sports Med*. juill 2018;32:244-51.
95. Anderson LM, Bonanno DR, Hart HF, Barton CJ. 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 Med Auckl NZ*. mai 2020;50(5):885-917.
96. Xu Y, Yuan P, Wang R, Wang D, Liu J, Zhou H. Effects of Foot Strike Techniques on Running Biomechanics: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Health*. févr 2021;13(1):71-7.
97. Esculier J-F, Dubois B, Bouyer LJ, McFadyen BJ, Roy J-S. Footwear characteristics are related to running mechanics in runners with patellofemoral pain. *Gait Posture*. mai 2017;54:144-7.
98. Warne JP, Gruber AH. Transitioning to Minimal Footwear: a Systematic Review of Methods and Future Clinical Recommendations. *Sports Med - Open*. 15 sept 2017;3(1):33.

99. de Oliveira FCL, Fredette A, Echeverría SO, Batcho CS, Roy J-S. Validity and Reliability of 2-Dimensional Video-Based Assessment to Analyze Foot Strike Pattern and Step Rate During Running: A Systematic Review. *Sports Health*. oct 2019;11(5):409-15.
100. Article R4321-2 - Code de la santé publique - Légifrance [Internet]. Disponible sur: https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000020953322/
101. Vicenzino B, Maclachlan L, Rathleff MS. Taking the pain out of the patellofemoral joint: articulating a bone of contention. *Br J Sports Med*. mars 2019;53(5):268-9.
102. Maclachlan LR, Collins NJ, Matthews MLG, Hodges PW, Vicenzino B. The psychological features of patellofemoral pain: a systematic review. *Br J Sports Med*. mai 2017;51(9):732-42.
103. Culvenor AG, van Middelkoop M, Macri EM, Crossley KM. Is patellofemoral pain preventable? A systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *Br J Sports Med*. 28 oct 2020;
104. Ramskov D, Rasmussen S, Sørensen H, Parner ET, Lind M, Nielsen R. Progression in Running Intensity or Running Volume and the Development of Specific Injuries in Recreational Runners: Run Clever, a Randomized Trial Using Competing Risks. *J Orthop Sports Phys Ther*. oct 2018;48(10):740-8.
105. Chan ZYS, Zhang JH, Au IPH, An WW, Shum GLK, Ng GYF, et al. Gait Retraining for the Reduction of Injury Occurrence in Novice Distance Runners: 1-Year Follow-up of a Randomized Controlled Trial. *Am J Sports Med*. févr 2018;46(2):388-95.

Annexe 1

Evaluation de la qualité méthodologique des ECR avec l'échelle PEDro

Echelle PEDro : critères	Etudes	Bonacci et al. 2018	Bonacci et al. 2020
1. les critères d'éligibilité ont été précisés		OUI	OUI
2. les sujets ont été répartis aléatoirement dans les groupes (pour un essai croisé, l'ordre des traitements reçus par les sujets a été attribué aléatoirement)		OUI	OUI
3. la répartition a respecté une assignation secrète		NON	NON
4. les groupes étaient similaires au début de l'étude au regard des indicateurs pronostiques les plus importants		OUI	OUI
5. tous les sujets étaient "en aveugle"		NON	NON
6. tous les thérapeutes ayant administré le traitement étaient "en aveugle"		NON	NON
7. tous les examinateurs étaient "en aveugle" pour au moins un des critères de jugement essentiels		NON	NON
8. les mesures, pour au moins un des critères de jugement essentiels, ont été obtenues pour plus de 85% des sujets initialement répartis dans les groupes		OUI	OUI
9. tous les sujets pour lesquels les résultats étaient disponibles ont reçu le traitement ou ont suivi l'intervention contrôle conformément à leur répartition ou, quand cela n'a pas été le cas, les données d'au moins un des critères de jugement essentiels ont été analysées "en intention de traiter"		OUI	OUI
10. les résultats des comparaisons statistiques intergroupes sont indiqués pour au moins un des critères de jugement essentiels		OUI	OUI
11. pour au moins un des critères de jugement essentiels, l'étude indique à la fois l'estimation des effets et l'estimation de leur variabilité		OUI	OUI
Score PEDro		6/10	6/10

Annexe 2

Evaluation de la qualité méthodologique des séries de cas avec l'échelle
« *Quality Assessment Tool for Case Series Studies* »

Critères	Etudes	Bramah et al. 2019	Dos Santos et al. 2019
1. La question ou l'objectif de l'étude sont-ils clairement énoncés ?		OUI	OUI
2. La population étudiée a-t-elle été décrite de manière claire et complète, y compris une définition de cas ?		OUI	OUI
3. Les cas étaient-ils consécutifs ?		OUI	OUI
4. Les sujets étaient-ils comparables ?		OUI	OUI
5. L'intervention était-elle clairement décrite ?		OUI	OUI
6. Les mesures des résultats étaient-elles clairement définies, valides, fiables et appliquées de manière cohérente pour tous les participants de l'étude ?		OUI	OUI
7. La durée du suivi était-elle adéquate ?		OUI	OUI
8. Les méthodes statistiques étaient-elles bien décrites ?		OUI	OUI
9. Les résultats ont-ils été bien décrits ?		OUI	OUI
Evaluation de la qualité		9/9	9/9

