



Institut Régional de Formation aux Métiers de la Rééducation et Réadaptation

Pays de la Loire

54, rue de la Baugerie – 44230 SAINT-SEBASTIEN SUR LOIRE

Les facteurs de risque de la fracture de fatigue du membre inférieur chez les coureurs isolés. Les applications mobiles de course à pied sont-elles impliquées dans la prévention de cette blessure ?

Revue systématique de la littérature

Quentin JAUNET

Mémoire UE 28

Semestre 10

Année scolaire : 2023-2024

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

Tout d'abord, je tiens à remercier ma directrice de mémoire pour son investissement, son accompagnement, ses conseils et sa disponibilité tout au long de la réalisation de ce mémoire.

J'adresse mes remerciements à l'ensemble des dirigeants et formateurs de l'IFM3R, ainsi qu'aux maîtres de stage rencontrés tout au long du parcours de formation. D'une part, pour leur investissement permanent visant à améliorer la qualité de la formation. D'autre part, pour leur écoute, leur bienveillance et leur accompagnement dans mon projet professionnel.

Je souhaite également remercier mon frère et ma soeur pour leur bonne humeur quotidienne et les moments de déconnexion partagés ensemble.

Je remercie tout particulièrement mes parents pour leur engagement et leur soutien tout au long de ces 5 années d'études. Merci de m'avoir aidé, accompagné et soutenu dans l'accomplissement de mes projets personnels et professionnels.

Pour finir, je remercie ma copine pour sa présence, ses encouragements quotidiens et son investissement pour la réalisation de ce mémoire. Merci de participer à mon évolution personnelle et professionnelle.

Résumé

Introduction : La course à pied est une activité individuelle et récréative pour 16 millions de français et pourvoyeuse de fractures de fatigue. **Objectifs :** Étudier et actualiser les facteurs de risque de la fracture de fatigue. Déterminer si ces facteurs identifiés sont pris en compte lorsque les applications mobiles proposent des programmes et des conseils d'entraînement. **Méthode :** Une équation de recherche a été utilisée sur les bases de données scientifiques (Pubmed, PEDro et Cochrane Library). Deux bibliothèques d'applications mobiles ont été investiguées (Apple, Google). Six études et trois applications ont été incluses dans la revue. Deux échelles ont permis d'évaluer la qualité méthodologique. **Résultats :** 18 facteurs de risque ont pu être identifiés. L'augmentation des déterminants de l'entraînement influence l'accroissement du stress mécanique lors de la course. C'est la cause principale d'apparition de fractures de fatigue chez les coureurs. Les anti-inflammatoires, la supplémentation en nutriments, les caractéristiques menstruelles et les antécédents médicaux participent à la diminution des capacités de résistance osseuse, favorisant la fracture. **Conclusion :** Les facteurs identifiés doivent être pris en compte dans la prévention et le dépistage des fractures de fatigue. Des adaptations auprès des applications mobiles de course à pied sont nécessaires afin de préserver efficacement la santé des coureurs. De futures études devraient être menées pour déterminer les liens entre chaque facteur dans le processus d'apparition de la fracture de fatigue.

Mots-clés : applications mobiles, course à pied, facteur de risque, fracture de fatigue, fracture de stress.

Introduction: Running is an individual and recreational activity for 16 million French people, and a source of stress fractures. **Aims:** To study and update the risk factors for stress fracture. Determine whether these identified factors are taken into account when mobile applications suggest programs and training advice. **Method:** A search equation was used on scientific databases (Pubmed, PEDro and Cochrane Library). Two mobile app libraries were investigated (Apple, Google). Six studies and three apps were included in the review. Two scales were used to assess methodological quality. **Results:** 18 risk factors were identified. The increase in training determinants influences the increase in mechanical stress during running. This is the main cause of stress fractures in runners. Anti-inflammatory drugs, nutrient supplementation, menstrual characteristics and medical history all play their part in reducing bone resistance, thereby promoting fracture. **Conclusion:** The factors identified need to be taken into account in the prevention and detection of stress fractures. Adaptations to mobile running applications are needed to safeguard runners health effectively. Future studies should be carried out to determine the links between each factor in the process of stress fracture development.

Keywords: fatigue fracture, mobile applications, running, risk factor, stress fracture.

Liste des abréviations

AP : Activité physique

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

CAP : Course à pied

FFA : Fédération Française d'Athlétisme

MK : Masseur-kinésithérapeute

MI : Membre inférieur

FS : Fracture de stress

FDR : Facteurs de risque

LCA : Ligament croisé antérieur

ES : Taille d'effet

OR : Odds ratio

IC95% : Intervalle de confiance à 95%

IMC : Indice de masse corporelle

HAS : Haute Autorité de Santé

MeSH : Medical Subject Heading

NCAA : National Collegiate Athletic Association

NFS : Sans antécédent de fracture de stress

AINS : Anti-inflammatoire non stéroïdien

BCAA : Branched-chain amino acids

GRADE : Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation

Table des matières

1. Introduction.....	1
1.1 Anatomie et physiologie osseuse.....	2
1.2 Le stress mécanique.....	4
1.3 Les blessures en course à pied.....	5
1.4 Prévention des risques.....	9
1.5 Problématique et objectifs de cette revue.....	12
1.6 Hypothèses.....	13
1.7 Enjeux et pertinence de cette revue de littérature.....	14
2. Méthode.....	14
2.1 Critères d'éligibilité.....	14
2.2 Méthodologie de recherche des articles.....	15
2.3 Stratégie d'extraction et d'analyse des données.....	17
2.4 Méthode de synthèse des résultats.....	19
2.5 Méthode de sélection et d'analyse des applications mobiles en course à pied.....	20
3. Résultats.....	21
3.1 Description des études.....	21
3.2 Qualité méthodologique des études incluses.....	27
3.3 Résultats et effets de l'intervention sur les critères de jugement.....	29
4. Discussion.....	36
4.1 Analyse des résultats principaux.....	36
4.2 Applicabilité en pratique clinique.....	44
4.3 Qualité des preuves.....	47
4.4 Biais potentiels de la revue.....	47
4.5 Conflit d'intérêt.....	48
5. Conclusion.....	49
5.1 Implication pour la pratique clinique.....	49
5.2 Implication pour la recherche.....	49
6. Ressources bibliographiques.....	51
7. Annexes.....	56

1. Introduction

Aujourd'hui, l'activité physique (AP) est considérée comme un déterminant de bonne santé chez l'individu. L'AP est définie par « tout mouvement corporel produit par la contraction des muscles squelettiques entraînant une augmentation de la dépense énergétique par rapport à la dépense énergétique de repos » (1). L'Organisation mondiale de la Santé (OMS) préconise une activité physique modérée d'au moins 150 minutes ou une activité intense d'au moins 75 minutes par semaine chez l'adulte (2). L'activité physique est un moyen de lutter contre la sédentarité qui s'installe notamment dans les pays développés. Ses bénéfices sont multiples pour de nombreuses pathologies cardio-respiratoires, métaboliques, tumorales et neurologiques mais également pour la santé mentale (3,4).

La course à pied (CAP) est une pratique sportive et donc une activité physique. D'après un rapport SportEco publié en 2019 par le Ministère des sports, la démocratisation de cette pratique s'est accélérée depuis les années 1980 (5). En 2016, le baromètre SportLab de la Fédération Française d'Athlétisme (FFA) estime que 25 % de la population des plus de 15 ans pratiquent le running, soit 16,5 millions de personnes. 12 millions d'entre eux courent une fois par semaine. Cependant, seulement 314 692 licenciés sont dénombrés dans la FFA. Il apparaît donc que la grande majorité des coureurs continue de pratiquer loin des instances fédérales et des clubs d'athlétisme.

En parallèle, les avancées technologiques ont accentué la démocratisation de l'activité. De nombreuses applications se sont développées pour accompagner au mieux les coureurs à pied dans leurs entraînements. En général, ces dispositifs proposent un suivi de l'entraînement en temps réel (durée, distance, vitesse, parcours). Des programmes d'entraînement et des conseils sont parfois suggérés en fonction des objectifs de l'utilisateur.

A travers ma pratique sportive et mes différents stages en masso-kinésithérapie, j'ai pu constater de nombreuses blessures liées à la course à pied. Selon certaines statistiques, un coureur sur deux se blesse au moins une fois dans l'année (6). Dans la majorité des cas, ils consultent un médecin et/ou un masseur-kinésithérapeute (MK) lorsque des douleurs apparaissent.

La fracture de fatigue fait partie des blessures fréquentes chez les coureurs au niveau des membres inférieurs (MI). Cette pathologie, peu évoquée lors de notre cursus de formation et rencontrée lors des stages, m'a interpellée. De plus, la présence de déficiences fonctionnelles variables en fonction des zones touchées rend difficile le diagnostic. La prévention correspond à une compétence référencée du MK (7). En tant que futur professionnel de santé, l'étude des facteurs de risque de la fracture de fatigue est nécessaire afin de limiter leur incidence et ainsi préserver l'activité physique chez les coureurs.

Que nous dit la littérature scientifique à ce sujet ? Comment pouvons-nous être pertinent et efficace dans la prévention des fractures de fatigue auprès des coureurs seuls ? Les applications prennent-elles en considération les facteurs de risque de cette pathologie dans leur proposition de programmes d'entraînement ?

De ce fait, notre cadre conceptuel rappelle l'anatomie du membre inférieur (MI) pour mieux comprendre les blessures liées à la course à pied et notamment la fracture de fatigue. Le concept de prévention sera également détaillé.

1.1 Anatomie et physiologie osseuse

La fracture de fatigue intervient sur les parties osseuses du corps humain et très majoritairement sur les MI en course à pied. De plus, sa formation semble être liée à des phénomènes physiologiques de l'os.

1.1.1 Ostéologie du membre inférieur

Le membre inférieur est composé de nombreuses pièces osseuses qu'il est possible de regrouper en plusieurs régions anatomiques (8).

➤ Le bassin

Composé de 2 os coxaux, du sacrum et du coccyx, cette région anatomique fait le lien entre le tronc et le MI. C'est le carrefour de transmission des contraintes entre le haut et le bas du corps.

➤ La cuisse

Elle se compose d'une pièce osseuse unique : le fémur. A sa partie proximale, le col fémoral représente l'interface de transmission des contraintes avec le bassin. C'est une zone étroite et fragile soumise à des contraintes conséquentes. Sa partie terminale forme l'articulation du genou avec la patella et le tibia.

➤ La jambe

Le tibia occupe la partie médiale du segment jambier et la fibula la partie latérale. Le tibia s'articule avec le fémur en proximal et avec la fibula en latéral. Son épiphyse proximale est volumineuse et résistante. Sa partie distale participe à l'articulation de la cheville et forme la pince malléolaire avec la fibula. Le tibia a un rôle de portance.

La fibula s'articule avec le tibia en haut et le talus en bas. Sa partie distale est plus mobile avec des déplacements transversaux lors des mouvements de cheville. Ces 2 os sont soumis à de fortes contraintes et sont les lieux privilégiés des fractures de fatigue.

➤ Le pied

Composé de 28 os : le talus, le calcaneus, le naviculaire, le cuboïde, les cunéiformes (médial, intermédiaire et latéral), les métatarsiens (1 à 5), les phalanges et les os sésamoïdes. Le pied est la région la plus distale du MI et directement en rapport avec le sol.

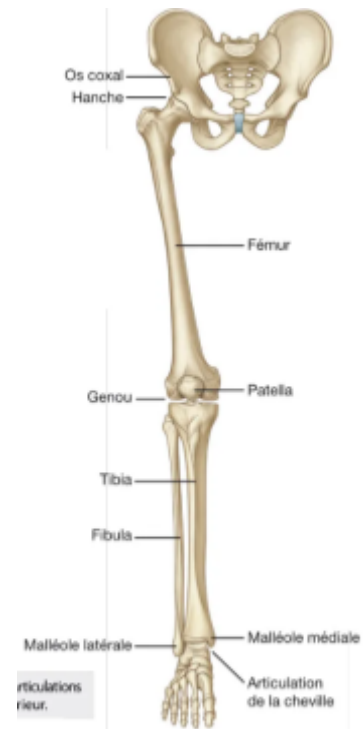


Figure 1 : Ostéologie du membre inférieur

1.1.2 La composition du tissu osseux

La structure interne des os a deux aspects distincts :

- Le tissu osseux cortical est composé de lamelles concentriques, denses et compactes. Situé à la partie externe de l'os, ce tissu abrite de nombreux vaisseaux sanguins et des cellules osseuses.
- L'os spongieux (ou trabéculaire) est une structure poreuse, de type alvéolaire (9). C'est la partie centrale de l'os en rapport direct avec la moelle osseuse. Cette dernière permet la formation des cellules sanguines.

Le périoste est une membrane conjonctive qui recouvre le tissu osseux. Il est composé de 2 couches :

- une couche externe fibreuse qui est solide par la présence de fibroblastes et de fibres de collagène.
- une couche interne responsable de la différenciation de deux types de cellules (ostéoblastes et chondroblastes) permettant de réparer les blessures subies par l'os.

1.1.3 La biomécanique osseuse

L'os n'est pas un tissu figé dans le temps. Il subit des changements et un renouvellement constant grâce à deux types de cellules qui le composent : les ostéoblastes et les ostéoclastes. Les rôles de ces cellules sont contraires mais complémentaires et participent à la régulation de la formation osseuse : les ostéoclastes sont responsables de la résorption de l'os alors que les ostéoblastes participent à la construction de nouvelles matières osseuses (10).

De plus, le tissu osseux est anisotrope et viscoélastique, c'est-à-dire que ses propriétés mécaniques varient en fonction des plans et de la vitesse d'application de la charge (11). D'après la loi de Wolff, l'os se forme et se résorbe en fonction des contraintes qu'il subit. Ces contraintes, aussi appelées stress mécanique, créent des micro-dommages au niveau de l'os. En réponse immédiate les ostéoclastes et ostéoblastes lancent le processus de remodelage osseux afin de réparer ces micro-lésions.

Ce mécanisme est physiologique chez l'Homme. L'os est un tissu vivant capable d'adapter ses caractéristiques locales par rapport aux contraintes auxquelles il est soumis.

L'os spongieux est considéré comme 10 fois moins résistant aux contraintes en compression que l'os cortical. En outre, plus un os est long, moins il est capable de résister aux contraintes en torsion (11).

1.2 Le stress mécanique

1.2.1 Définition

Le stress mécanique est défini en physique comme la quantification de la force par unité de surface (12). Un corps en mouvement agit contre la pesanteur et des contraintes s'opposent en permanence à son déplacement. Ces dernières peuvent être de 3 types et dépendent essentiellement de la direction des forces extérieures qui agissent sur le système (12):

- Les contraintes en compression agissent vers l'intérieur de la structure.
- Les contraintes en traction agissent vers l'extérieur de la structure.
- Les contraintes en cisaillement résultent d'un frottement à la surface de la structure.

Le corps met en place des forces de résistance afin de lutter face aux forces extérieures auxquelles il est soumis. L'exposition périodique à ces facteurs de stress produisent des réactions au niveau cellulaire et tissulaire engendrant des modifications de leurs propriétés morphologiques, tensionnelles et fonctionnelles (12).

1.2.2 Effet du stress mécanique sur l'os

La CAP est une activité qui entraîne de fortes contraintes mécaniques sur le système musculo-squelettique. Celles-ci sont indispensables pour préserver la résistance des os. Elle permet de stimuler les processus physiologiques de dégradation et de reconstruction osseuse. Ce mécanisme génère des adaptations au niveau du tissu osseux en réponse au stress qui lui est appliqué. Cependant, la CAP entraîne une fatigue osseuse (13). Lorsque le stress mécanique appliqué à l'os est supérieur à ses capacités de résistance, cela entraîne une fracture.

1.3 Les blessures en course à pied

1.3.1 Définition

En 2015, un consensus de 26 experts propose une définition de la blessure en course à pied chez les coureurs récréatifs. Approuvée par 80% des participants, la définition suivante fait désormais office de référence : « Douleur musculo-squelettique des membres inférieurs liée à la course (à l'entraînement ou en compétition) 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 programmées, ou qui oblige le coureur à consulter un médecin ou un autre professionnel de santé (14) ».

1.3.2 Causes et localisation des blessures en course à pied

La blessure relative à la course à pied est un phénomène complexe et multifactoriel (15). Godin et al rapportent que les pathologies en CAP sont liées à un dépassement des capacités d'une structure à supporter la charge (15).

Ces blessures sont dites de surutilisation ou « overuse ». La cause majoritaire identifiée est l'erreur d'entraînement.

Elle est due à 2 facteurs : la capacité de la structure anatomique à supporter la charge avant la séance d'entraînement, et la charge totale appliquée à cette structure pendant l'entraînement.

Dans son ouvrage, La Clinique du Coureur avancent également que 80% des

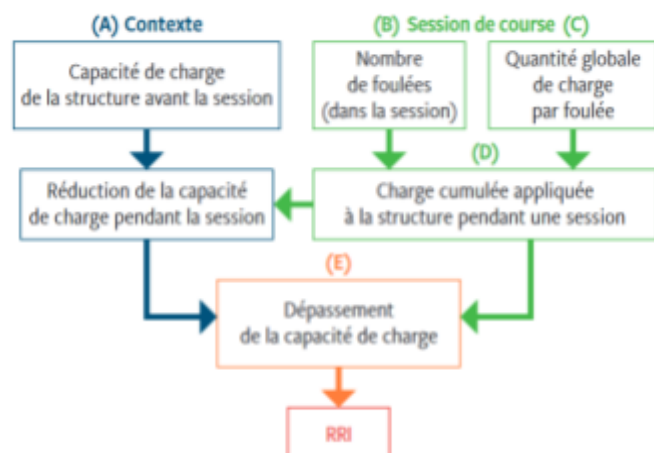


Figure 2 : Modèle étiologique d'apparition des blessures relatives à la course à pied, d'après Godin et al (15).

pathologies liées à la course surviennent après un changement dans l'entraînement (vitesse, distance, fréquence, etc) (16). Ces changements peuvent parfois ne pas être perçus par les coureurs. Les 20% restants seraient liés à : la technique de course, la surface, la nutrition, la fatigue, les chaussures, le stress ou les exercices.

Les blessures de surcharge sont répertoriées dans une revue systématique de 2021. Elle en dénombre 37 différentes (17). De même La Clinique du Coureur en dénombre 30. Parmi les plus représentées, on retrouve le syndrome fémoro-patellaire, le syndrome de stress tibial médial, la fasciite plantaire, le syndrome de la bandelette ilio-tibiale, la tendinopathie d'Achille et la fracture de fatigue. Cette dernière fait l'objet de cette revue.

1.3.3 La fracture de fatigue du membre inférieur

1.3.3.1 Définition

Une fracture de fatigue, plus communément appelée fracture de stress (FS) dans la littérature scientifique, est définie comme étant une rupture partielle ou complète d'un os à la suite d'une charge sus-maximale répétitive (18). La lésion apparaît sur un os sain par la répétition d'un stress mécanique excessif (19). Milner et al précise que cette blessure liée à la course est causée par une charge mécanique répétée entraînant une déformation de l'os et une accumulation de micro-fissures à un rythme qui dépassent les capacités de remodelage osseux (20).

1.3.3.2 Épidémiologie

La fracture de stress est une pathologie fréquente chez les personnes pratiquant les activités d'endurance ou de port de charge élevé comme en course à pied ou chez les militaires (14). C'est la 6^e pathologie la plus fréquente en course à pied avec un taux d'incidence moyen évalué à 4% qui augmente à 9% en fonction des études (17). La très grande majorité de cette pathologie intervient sur les MI (80-90%), avec notamment une forte proportion au niveau du tibia (24%) (9). D'autres zones sont fréquemment touchées : la fibula, le naviculaire et les métatarsiens (21). L'os iliaque, le fémur, le talus, le calcaneus et les os sésamoïdes sont plus rarement exposés aux fractures de stress (22).

1.3.3.3 Physiopathologie

Warden et al proposent un modèle physiopathologique de la blessure de stress osseux (figure 2) (23). Lors de la course à pied, les os sont nécessairement exposés à des contraintes. Les spécificités de chaque individu vont alors définir la tension osseuse perçue. Des micro-dommages apparaissent lorsque cette tension est supérieure aux capacités initiales de l'os. La biomécanique osseuse se met en place, les cellules sont stimulées et lancent le remodelage en fonction des dégâts. Lorsque les dommages causés sont supérieurs aux capacités de remodelage, ils s'accumulent et fragilisent l'os. Cela peut entraîner la fracture de stress (23).

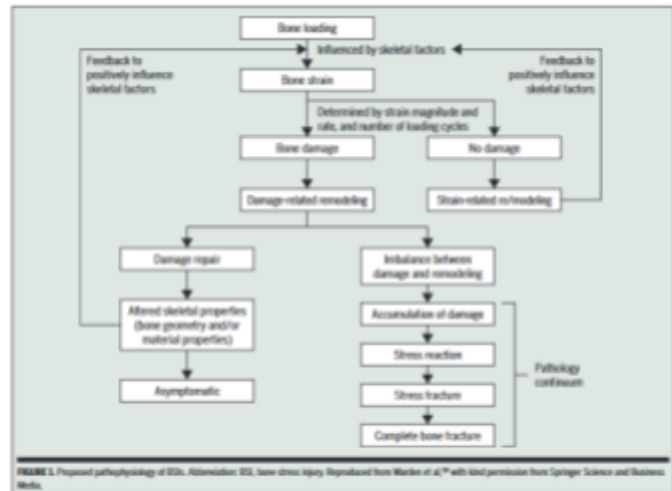


Figure 3 : Physiopathologie des blessures de stress osseux (23)

1.3.3.3 Diagnostic clinique

Le diagnostic de la FS se base essentiellement sur l'anamnèse du patient et ensuite sur l'imagerie (radiographie et IRM). L'anamnèse correspond à l'ensemble des informations rapportées par le patient sur l'histoire de la pathologie et les circonstances de sa survenue. En général, les patients rapportent une apparition insidieuse de la douleur sans traumatisme spécifique. Ils font également état d'un contexte sportif, notamment la course à pied, avec une augmentation d'intensité, de volume ou un changement de surface lors de l'entraînement (24). Le plus souvent, les symptômes sont progressifs et apparaissent lors de l'entraînement, puis diminuent voire disparaissent à l'arrêt de l'activité. Non prise en charge, la douleur persiste et impacte les activités de la vie quotidienne.

Lors de l'examen physique, la FS peut être soupçonnée lorsqu'il existe une sensibilité osseuse à la palpation. Cependant, certaines zones sont cliniquement plus difficiles à examiner.

Le fulcrum test (*annexe 1*) est utilisé pour le dépistage des FS fémorales. D'après Reiman et al, il possède une valeur clinique modérée (sensibilité 90%, spécificité entre 13 et 75%) (25). Il est considéré comme positif lorsqu'une douleur aiguë et une appréhension sont reproduites chez le patient (26).

Dans le cas d'une localisation tibiale, un test de saut sur une jambe peut être réalisé afin de distinguer s'il s'agit d'une fracture ou d'une périostite tibiale. Dans le cas d'une fracture, le

patient est dans l'incapacité de réaliser des sauts sans douleur, celle-ci augmentant lors de la réception (24).

1.3.3.4 Les facteurs de risque

En 2015, une revue de littérature sur les fractures de stress des MI chez les coureurs et les militaires est parue (27). Cette synthèse classe les facteurs de risque (FDR) en deux catégories distinctes : les facteurs intrinsèques (non-modifiables, propres à l'individu) et extrinsèques (modifiables).

Dans les facteurs intrinsèques, les **antécédents de FS** et le **sex féminin** multiplient respectivement le risque de FS par 5 et par 2,3. Les preuves sont considérées comme solides par les auteurs. Les **caractéristiques menstruelles**, telles que l'absence de menstruation, l'irrégularité des règles ou un retard d'apparition des règles (>15 ans), semblent participer à l'augmentation du risque chez les coureuses. Cependant, les preuves apparaissent comme faibles au vu du manque d'études sur le sujet. De la même manière, un manque de preuves solides est recensé concernant la **composition corporelle** (contenu minéral, masse corporelle et IMC) et la **densité minérale osseuse**.

Concernant les facteurs extrinsèques, les données sur l'influence de la **contraception orale** sont non significatives, elles apparaissent à la fois comme des facteurs protecteurs et aggravants. Des preuves contradictoires se manifestent pour la **supplémentation en calcium** des coureurs. Une étude inclut dans la revue de 2015 l'identifie comme facteur réducteur du taux de FS quand une autre prouve une augmentation du risque de FS par 3 (27). Des **antécédents de troubles alimentaires** (anorexie mentale, boulimie) paraissent également comme une menace de FS. Enfin, concernant le **régime d'entraînement**, il ressort une augmentation du risque lorsque la distance parcourue par semaine dépasse 32 km. Néanmoins les preuves sur le sujet sont très limitées puisqu'elles émanent d'une seule étude (28).

En reprenant le modèle étiologique d'apparition des blessures proposé par Godin et al, les facteurs intrinsèques accompagnés des habitudes alimentaires et de la contraception joueraient un rôle sur la qualité et les capacités de résistance osseuse. De l'autre côté, les caractéristiques liées au régime d'entraînement auraient un rôle sur la charge appliquée sur le système musculo-squelettique (15).

Au vu des preuves limitées et contradictoires retrouvées dans leur revue, Wright et al suggèrent des investigations plus approfondies sur l'influence des facteurs biomécaniques,

nutritionnels et les caractéristiques de l'entraînement en course à pied dans le processus d'apparition des fractures de stress.

Il semble donc opportun d'actualiser les FDR à l'aide des nouvelles avancées scientifiques sur le sujet dans le but de prévenir efficacement cette pathologie de stress.

1.4 Prévention des risques

1.4.1 Définition

En 1948, le principe de prévention est décrit par l'OMS comme étant « l'ensemble des mesures visant à éviter ou réduire le nombre et la gravité des maladies, des accidents et des handicaps » (29). En outre, depuis 2015, le masseur-kinésithérapeute doit être en capacité de *concevoir et de conduire une démarche de promotion de la santé, d'éducation thérapeutique, de **prévention** et de dépistage* (7).

Trois types de prévention sont répertoriés : la prévention primaire, secondaire et tertiaire. La prévention primaire est celle qui nous intéresse dans ce mémoire. Elle est définie comme « l'ensemble des actes visant à diminuer l'incidence d'une maladie dans une population et à réduire les risques d'apparition ; sont ainsi pris en compte la prévention des conduites individuelles à risque comme les risques en termes environnementaux et sociétaux » (29).

1.4.2 Différents modèles de prévention

En 1992, un premier modèle de prévention adapté aux blessures sportives est proposé par Van Mechelen et al. Il est composé de quatre étapes formant une boucle. La première étape consiste à décrire le problème par le recensement de son incidence et de sa sévérité. Ensuite, il s'agit d'identifier les facteurs de risques et les mécanismes lésionnels pour envisager la mise en place de mesures préventives. La dernière consiste à évaluer l'efficacité des mesures préventives en répétant l'étape 1. Ce modèle a inspiré de nombreux travaux par la suite mais ses caractères linéaires et non-dynamiques sont critiqués (30).

C'est pourquoi les derniers travaux scientifiques révèlent une nouvelle stratégie nommée « approche de management des risques ». En 2016, Bittencourt et al expliquent que l'apparition des blessures chez les sportifs est un phénomène complexe (31). Selon eux, une cause ou un facteur de risque isolé ne peut pas déterminer à lui seul une blessure. De plus, ils démontrent que les déterminants d'une même blessure sont différents en fonction du contexte: ce modèle rend compte de la complexité et de la non-linéarité des blessures sportives (figure 4).

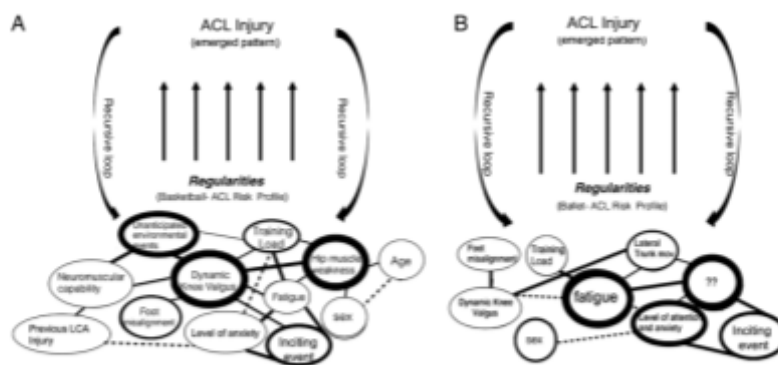


Figure 4 : Exemple du réseau de déterminants d'une lésion du LCA dans 2 situations sportives différentes : (A) chez les athlètes de basket-ball, (B) chez les danseurs de ballet (31).

En parallèle, Roe et al émettent un cadre opérationnel de gestion des risques en 6 étapes pour diminuer la probabilité de survenue des blessures tout en conservant un niveau de performance optimal (figure 5). Les facteurs de risque sont pris en compte en fonction des particularités de l'athlète et des exigences de sa pratique physique (32). Les étapes 1 et 2 consistent en un état des lieux des blessures potentielles et des facteurs de risque auxquels l'athlète est confronté. Les étapes 3 et 4 visent à établir un profil des capacités de l'athlète et des exigences du sport pratiqué. Les étapes 5 et 6 envisagent de proposer des actions de prévention et évaluer les réactions du sportif aux interventions.

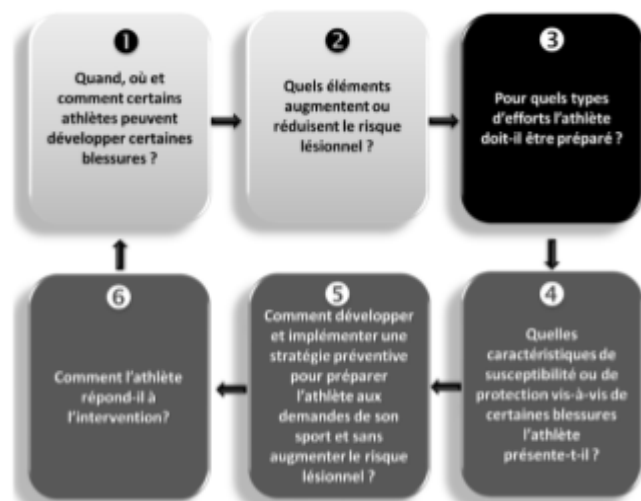


Figure 5 : Cadre opérationnel pour la gestion du risque de blessure (32)

1.4.3 Les coureurs « isolés »

La course à pied est une activité qui s'est développée à l'écart de la fédération d'athlétisme et des clubs sportifs. Bien qu'aujourd'hui la FFA et les clubs organisent et encadrent les courses, la très grande majorité des coureurs s'entraîne seule, à l'écart des institutions et des entraîneurs ou professionnels de la course (5). Ces coureurs dit « isolés » sont des cibles importantes à prévenir quand on sait qu'un sur deux se blesse au moins une fois dans l'année (6). Notre objet d'étude dans cette revue se concentre sur les coureurs pratiquant librement de

la course sans licence fédérale. Les athlètes sur piste ne sont pas pris en compte, considérant que leur type de pratique est spécifique, à visée de performance, et donc requiert une implication dans un club d'athlétisme donnant l'accès à un coach pour gérer les entraînements.

Dans la littérature scientifique, il n'existe pas de définition uniformisée de la notion à étudier ici : le coureur isolé. En revanche, une revue de Kluitenberg et al différencie les coureurs en fonction de la distance et de leur fréquence d'activité :

- Coureur novice : aucune expérience régulière du running au cours de l'année ;
- Coureur récréationnel : non compétitif ou participant à des courses sur route <10 km ;
- Coureur de longues distances : pratiquant des courses entre 10 km et 42 km (marathon) ;
- Coureur de marathon : pratiquants des courses de 42 km
- Coureur d'ultra-marathon : pratiquant des courses > 42 km (33).

Notre définition des coureurs isolés s'appuiera donc sur les notions de coureurs novices, récréationnels, de longues distances et marathonniens. Les ultra-marathonniens sont considérés comme experts de la course à pied avec des taux d'incidence et de prévalence des blessures qui diffèrent par rapport aux autres types de coureurs (17).

1.4.4 Les applications mobiles de course à pied

Avec la promotion et le développement de la course à pied dans la population générale, les progrès technologiques ont permis de fournir aux coureurs des outils pour suivre leurs entraînements. De nombreuses applications se sont développées sur smartphone et proposent aux sportifs de suivre la distance parcourue, la vitesse, le nombre de pas effectués, etc, pendant leur sortie de course à pied. De plus, certaines applications comme *Strava*, sont des «réseaux sociaux » de la course à pied, permettant de partager ses progrès avec d'autres utilisateurs. L'engouement autour de cette pratique sportive a aussi encouragé les plus grandes marques de sport à développer leur propre application de running (*Adidas running, Nike run, Décathlon coach...*).

Outre les paramètres de base de suivi de la course à pied, ces applications proposent également des plans d'entraînement. Ces programmes sont destinés à tout type de coureur, des amateurs au plus expérimentés, et répondent à des objectifs divers et variés : préparation d'une course, débiter la course à pied, rester en forme... L'émergence des objets connectés, comme les montres, favorise le suivi de l'évolution en temps réel pendant l'entraînement.

Toute cette connectique permet désormais aux individus de contrôler leur santé : la fréquence cardiaque, le temps de sommeil, le temps d'effort physique.

Aujourd'hui, il semble difficile d'appliquer la prévention primaire auprès des coureurs isolés. Cette population est difficile à atteindre et le MK intervient majoritairement lorsque les sportifs sont déjà blessés. Cependant, les applications mobiles pourraient être des bons moyens de communication afin d'informer les utilisateurs sur les comportements à adopter pour limiter l'apparition des blessures, comme la fracture de stress. Dans cette optique, le MK trouverait un rôle dans la création du contenu des applications (conseils et programmes d'entraînement).

1.5 Problématique et objectifs de cette revue

Depuis plusieurs décennies, la course à pied est une pratique sportive de loisirs très répandue dans la population. Plusieurs raisons sont identifiées pour expliquer la démocratisation de cette pratique. C'est une activité primaire chez l'Homme qui s'acquiert dans les premières années de la vie. Elle est accessible à tous car ne nécessite aucun engagement particulier auprès d'un club ou d'une fédération. Peu coûteuse, elle ne nécessite que très peu d'équipement et est fortement valorisée dans le cadre de la santé. Malgré cela, la course à pied est pourvoyeuse de blessures à cause du stress mécanique important qu'elle engendre. Il apparaît que de nombreux facteurs, encore mal identifiés, participent à l'apparition de ces pathologies notamment chez les coureurs isolés.

La blessure étant le premier facteur d'arrêt de la pratique physique, il semble primordial de prévenir les risques chez les coureurs pratiquant seuls afin qu'ils puissent continuer leur activité et se maintenir en bonne santé. Les progrès technologiques avec l'apparition d'applications sont de nouveaux moyens d'accompagner ces sportifs isolés en proposant des programmes d'entraînement.

Dans l'optique de réduire l'incidence des fractures de stress, il est primordial d'identifier l'ensemble des facteurs de risque pour ensuite envisager une prévention auprès des coureurs à pied isolés. Tous ces éléments amènent aux questionnements suivants :

Problématique : Quels facteurs de risque interviennent dans l'apparition des fractures de stress du membre inférieur chez les coureurs isolés ? Les applications proposent-elles des programmes d'entraînement adaptés aux facteurs de risque identifiés ?	
Objectifs	➤ Étudier et actualiser les facteurs de risque de la fracture de stress afin d'établir leur lien avec l'apparition de la fracture de stress. ➤ Déterminer si ces facteurs de risque identifiés sont pris en considération dans les programmes d'entraînement et les conseils en course à pied des applications mobiles.

1.6 Hypothèses

Le modèle épidémiologique proposé par Godin et al (figure 2), les recommandations de La Clinique du Coureur et les données apportées par la revue systématique du Wright et al (15,16,27) avancent que les caractéristiques de l'entraînement ont un rôle majeur dans l'apparition de la FS. Nous pouvons alors émettre l'hypothèse que la variation des paramètres de l'entraînement comme la vitesse, la distance, la durée, la fréquence et la surface influencent l'apparition de la FS chez les coureurs.

De plus, il est également probable que d'autres particularités de l'entraînement comme mauvaise technique de course ou le type de chaussures puissent être à l'origine de l'augmentation du stress mécanique induisant la blessure.

Les antécédents de FS sont un facteur de risque fiable pour développer de nouveau cette pathologie. Cependant, de nombreuses pathologies de surutilisation sont dénombrées en CAP et pourraient également favoriser l'apparition de FS.

En outre, les variations hormonales liées aux cycle menstruels et à la contraception chez la femme pourraient avoir un rôle dans la réduction des capacités de résistance osseuse. Les os supporteraient moins les contraintes lors de certaines périodes du cycle menstruel.

Les facteurs de composition corporelle comme la faible densité minérale osseuse et un faible indice de masse corporel (IMC) influencent probablement aussi les capacités de l'os, le rendant plus fragile et friable.

D'autre part, des facteurs liés à l'alimentation tels que la supplémentation en calcium, la consommation de produits laitiers ou les antécédents de troubles alimentaires influenceraient

également les caractéristiques osseuses. Ils pourraient apparaître comme des facteurs de risque ou protecteur de la FS.

Enfin, chez les coureurs, des facteurs biologiques, psychologiques et sociaux influencent l'apparition de blessures. Nous pouvons alors faire l'hypothèse que des caractéristiques personnelles, comme l'âge, le sommeil, le stress, la fatigue et l'anxiété, interviennent dans le processus de survenue d'une fracture de stress.

1.7 Enjeux et pertinence de cette revue de littérature

Les preuves scientifiques limitées apportées par la revue de Wright et al justifient une actualisation des connaissances en s'appuyant sur les nouvelles avancées scientifiques des 10 dernières années.

Le masseur- kinésithérapeute joue un rôle essentiel dans la prévention, le dépistage et l'éducation des sportifs. Il doit donc rester informé des progrès dans les domaines de la santé et du sport pour fournir des conseils avisés et des moyens efficaces de réduction des blessures. Cette expertise permet d'éviter la surconsommation de soin en rendant les coureurs acteurs de leur santé.

Les applications mobiles de conseils et d'accompagnement en course à pied ont un rôle à jouer dans la prévention des blessures et dans l'éducation des sportifs. Elles font désormais partie du panorama autour des coureurs et pourraient tenir un rôle de santé publique essentiel.

2. Méthode

2.1 Critères d'éligibilité

2.1.1 Les types d'études pris en compte dans cette revue

Cette question de prévention s'intéresse aux facteurs de risque modifiables et non-modifiables afin de prédire l'apparition des fractures de fatigue chez les coureurs.

La sélection des études s'appuiera sur les grades de recommandation émis par la Haute Autorité de Santé (HAS) qui classe chaque type d'étude en fonction de leur niveau de preuve scientifique (*annexe 2*)(34).

Cette revue s'appuiera sur des études scientifiques primaires. Les travaux de forte puissance, contenant des preuves scientifiques établies (essais cliniques randomisés) seront priorisés. Les

articles reposant sur une présomption de preuves ou de faible niveau de preuve seront également investigués (études de cohorte, études de cas-témoin, études rétrospectives, séries de cas, études transversales et longitudinales). Seules les revues de littérature, les méta-analyses, les consensus d'experts et les conférences seront exclus.

Enfin, les études incluses devront être publiées entre 2014 et 2024 pour ne prendre en compte que les plus récentes. Elles seront rédigées en langue anglaise ou française.

2.1.2 Population et pathologie incluse

Cette revue systématique s'appuiera sur les coureurs à pied isolés pratiquant la course hors stade. Cependant, les coureurs de longue distance et les marathonniens pourront être inclus car, malgré une plus grande expérience en course à pied, ils peuvent également s'entraîner seuls et ne pas avoir recours à un club ou un coach professionnel. Leur inclusion permettra également d'accéder à un plus grand nombre de données et d'augmenter la population étudiée. Aucune limite d'âge ou de sexe ne sera pris en compte.

Les études comprenant des coureurs professionnels, des ultra-marathonniens ou des pratiquants d'autres types de sport seront exclues car les données d'incidence et de prévalence des blessures diffèrent des autres coureurs (17). De même, si les études ne s'intéressent pas uniquement à la fracture de stress du membre inférieur, ou si elles incluent d'autres pathologies fréquentes du coureur à pied (tendinopathie d'Achille, périostite tibiale, syndrome de l'essui-glace, ...), celles-ci seront exclues de cette revue.

2.1.3 Critères d'éligibilité des applications mobiles de course à pied

Les applications doivent apparaître sur Apple Store et/ou Google Store, qui sont les deux plus grandes bibliothèques d'applications mondiales. L'accès au téléchargement et à l'intégralité du contenu doit être entièrement gratuit. Elles devront également comporter des programmes d'entraînement accompagnés ou non de conseils pour la pratique de la course à pied.

2.2 Méthodologie de recherche des articles

2.2.1 Sources documentaires

Les recherches sur la thématique sont réalisées sur Pubmed, PEDro et la Cochrane Library qui sont des bases de données regroupant la grande majorité de la littérature scientifique médicale et paramédicale. Le livre La Clinique du coureur est également venu étayer les premières

investigations scientifiques (16). De plus, d'autres références ont pu être trouvées dans la littérature grise et dans les bibliographies des études préalablement sélectionnées.

En m'appuyant sur l'équation de recherche utilisée par *Wright et al* et sur les mots-clés de ma problématique, une équation de recherche a été élaborée (27).

2.2.2 Équation de recherche

Afin de mener une recherche efficace et de limiter les risques de bruit ou de silence documentaire, les mots-clés correspondant à la problématique ont été ciblés et classés par catégorie :

- Population : coureurs à pied
- Pathologie : fracture de stress
- Outcomes : facteurs de risque

Pour obtenir le maximum d'articles susceptibles de répondre à la problématique, l'ensemble des synonymes et des termes MeSH (Medical Subject Heading) correspondant aux mots-clés identifiés ont été inclus.

La liste suivante a été établie grâce au site internet HeTop, développé par le CHU de Rouen, et l'onglet « Mesh Database » de Pubmed (tableau I) :

Tableau I : Termes MeSH utilisés pour l'équation de recherche

Population	Coureurs à pied	run, runners, runn*, running, jogging, recreational runn*, marathon runn*, long distance runn*
Pathologie	Fracture de stress	stress fracture, fatigue fracture, march fracture, insufficiency fracture, overuse fracture, bone stress reaction, stress lesion, stress injury, repetitive stress injury
Outcomes	Facteurs de risque	risk factors

Les termes identifiés seront par la suite associés entre eux à l'aide des opérateurs booléens «OR », « AND » ou « NOT ». A la fin de certains mots-clés, une troncature (*) est utilisée pour que les moteurs de recherche puissent inclure les termes ayant la même racine lexicale.

Les associations permettent d'obtenir l'équation suivante :

(run OR runners OR runn* OR running OR jogging OR recreational runn* OR marathon runn* OR long distance runn*)

AND

(stress fracture OR fatigue fracture OR march fracture OR insufficiency fracture OR overuse fracture OR bone stress reaction OR stress lesion OR stress injury OR repetitive stress injury)

AND

(risk factors)

A partir de cette équation, sa formulation a été adaptée en fonction des différentes bases de données. Les études obtenues ont été analysées et sélectionnées grâce à des critères d'inclusion et d'exclusion précis, permettant de répondre à la première partie de la problématique de cette revue.

2.3 Stratégie d'extraction et d'analyse des données

2.3.1 Sélection des études

Le premier critère de sélection des études sera la date de publication. Ce filtre s'intéresse à l'ensemble des études parues entre 2014 et 2024. Les articles seront également priorisés en fonction du schéma de l'étude. Les études de synthèse seront exclues. Cependant, aucun filtre concernant ces travaux ne sera utilisé dans les bases de données car ils peuvent être des sources de recherche d'articles via leur bibliographie.

La première étape de tri des articles, obtenus grâce à notre équation de recherche et au filtre temporel, commencera par la lecture des titres. Ces derniers devront nous renseigner sur la pathologie, la population et le type de FDR étudié. Dans le cas où les informations du titre ne seraient pas explicites, l'article sera conservé et continuera son parcours dans le processus d'analyse.

La lecture des résumés fera suite à cette première pré-sélection et permettra d'affiner la recherche en ne sélectionnant que des études répondant à nos critères de sélection (tableau II). De plus, nous pourrions à ce stade détecter et supprimer les potentiels doublons.

A l'issue des deux étapes de pré-sélection, l'ensemble des articles restants sera soumis à une lecture intégrale. Dans le cas où les études répondent favorablement aux critères de sélection

préalablement fixés, elles pourront être incluses dans la revue de littérature. En outre, la qualité des études sera également recherchée.

Tableau II : Critères de sélection des études

Critères	Inclusion	- Coureurs isolés, sans limite de sexe ni d'âge - Fracture de stress identifiable et définie explicitement - Identification d'un facteur de risque potentiel - Etudes prospectives ou rétrospectives
	Exclusion	- Conférences, revues de littérature, revues narratives ou consensus d'expert - Articles parus avant 2014 - Coureurs encadrés, coureurs professionnels, militaires - Pratique d'un autre type de sport - Autre pathologie du coureur à pied

A la fin de cet algorithme de sélection, les articles remplissant l'ensemble des critères seront inclus et soumis à l'étape d'extraction des données.

2.3.2 Méthode d'extraction des données

Les caractéristiques des études incluses dans la revue seront répertoriées dans un tableau de synthèse (tableau III). Celui-ci précisera l'objectif, la population, la pathologie, les FDR étudiés ainsi que le protocole expérimental. De plus, d'autres éléments pourront figurer comme l'auteur, l'année de publication et le type d'étude.

Tableau III : Tableau des caractéristiques des études incluses

Tableau des caractéristiques des études incluses					
Auteur / Année	Type d'étude	Objectifs de l'étude	Population	Facteurs de risque étudiés	Protocole

2.3.3 Evaluation de la qualité méthodologiques des études incluses

Compte-tenu des études incluses dans la revue, deux échelles d'évaluation différentes ont été utilisées : l'échelle Newcastle-Ottawa (NOS) et la JBI Critical Appraisal Checklist for Case Reports (35,36).

L'échelle Newcastle-Ottawa permet d'évaluer les éventuels biais méthodologiques des études non-randomisées, notamment les études de cohortes et de cas-témoins (37). Elle évalue la validité interne des études à travers 8 critères répartis en trois perspectives : la sélection des

groupes d'études (items 1 à 4), la comparabilité des groupes (item 5) et la vérification des critères de jugement (items 6 à 8).

Le score maximal est 9. Tous les items sont évalués avec 0 ou 1 point sauf l'item 5 qui est noté sur 2. En fonction de la note obtenue, il est possible d'évaluer la qualité de l'étude (tableau IV) :

Tableau IV : Interprétation de la notation des études incluses

0-4	5-6	7-8	9
Etude non satisfaisante	Etude satisfaisante	Bonne étude	Très bonne étude

L'échelle Newcastle-Ottawa possède deux grilles contenant des intitulés de critères différents selon le type d'étude : cohorte ou cas-témoin.

L'échelle, proposée par le Joanna Briggs Institute (JBI), contribue à identifier les biais méthodologiques présents dans les rapport de cas (36). Cet outil n'est pas construit sur la base d'une approche par domaine, contrairement à l'échelle Newcastle-Ottawa. Plusieurs réponses sont possibles aux 8 critères composant cette échelle : oui, non, non clairement détaillé (unclear), non applicable (NA). Le score final obtenu sur 8 n'a aucune valeur scientifique, il sert seulement d'indicateur.

2.4 Méthode de synthèse des résultats

Les résultats obtenus seront synthétisés afin de faciliter leur lecture, leur analyse et leur interprétation. Ils présenteront la significativité statistique et la significativité clinique de chaque étude lorsque les données seront disponibles et interprétables.

La significativité statistique repose sur un indicateur majeur : la **p-value**. Cette valeur permet de rejeter ou conserver une hypothèse nulle. Rejeter l'hypothèse nulle, généralement lorsque $p < 0,05$, signifie qu'il existe des différences statistiques significatives entre deux échantillons, avec un risque d'erreur de 5%.

Cependant, cette valeur statistique ne permet pas de conclure sur l'intérêt clinique du résultat observé. Pour cela, il faut rechercher la significativité clinique par l'intermédiaire de deux indicateurs : la taille d'effet et son intervalle de confiance.

- La **taille d'effet** (ES) : c'est une mesure standardisée qui permet de mesurer la force de la relation statistique entre deux variables. En d'autres termes, pour cette revue, elle

a pour but d'indiquer l'ampleur de l'effet d'un facteur de risque sur la survenue d'une fracture de stress chez les coureurs.

- L'**odds ratio** (OR) : c'est un rapport de probabilité pour mesurer le risque qu'une pathologie arrivant dans un groupe A, survienne également dans un groupe B. Un OR égal à 1 signifie l'absence d'effet. S'il est inférieur à 1, l'effet est considéré comme bénéfique. S'il est supérieur à 1, l'effet est considéré comme délétère (38).
- L'**intervalle de confiance à 95%** (IC95%) : il permet d'encadrer la valeur estimée pour un échantillon, en définissant une marge d'erreur de 5%. Cela signifie que si l'expérimentation est reproduite cent fois pour un échantillon similaire, les valeurs obtenues appartiendront à cet intervalle de confiance 95 fois.

Compte-tenu de la faible disponibilité des articles sur les facteurs de risque de fracture de stress du membre inférieur chez les coureurs isolés, cette revue ne contiendra pas de méta-analyse. Celle-ci aurait permis de quantifier les effets combinés des différents FDR dans l'apparition de la pathologie dans cette population spécifique. L'analyse des résultats sera exclusivement qualitative.

2.5 Méthode de sélection et d'analyse des applications mobiles en course à pied

Les applications proposant des programmes d'entraînement et des conseils pour la pratique de la course à pied seront recherchées sur les deux plus grandes plateformes mondiales mettant à disposition ce type de contenu : Apple Store et Google Store. Ces applications doivent être gratuites et apparaître lorsque la mention « course à pied » est notifiée dans la barre de recherche.

Dans leur contenu, les applications devront proposer des programmes d'entraînement aux utilisateurs et de conseils pour la pratique de la course à pied. Tous ces éléments devront être entièrement gratuits pour l'utilisateur et facilement accessibles.

La littérature en sport-santé ne fournit aucun outil d'analyse des résultats obtenus. C'est pourquoi l'analyse des contenus est personnelle et un tableau (tableau V) a pu être construit pour simplifier les comparaisons. Les résultats de la recherche et de l'analyse sont ensuite comparés aux facteurs de risque de fracture de stress identifiés afin de répondre à la problématique : les applications d'accompagnement à la course participent-elles à la prévention des blessures ?

Tableau V : Caractéristiques des applications incluses dans la revue

Caractéristiques de applications incluses				
Nom	Base de données	Types de contenu	Programmes d'entraînement	Conseils

3. Résultats

3.1 Description des études

3.1.1 Diagramme de flux

Le diagramme de flux présenté ci-dessous (figure 6) synthétise l'ensemble du processus de sélection des études incluses dans cette revue de littérature.

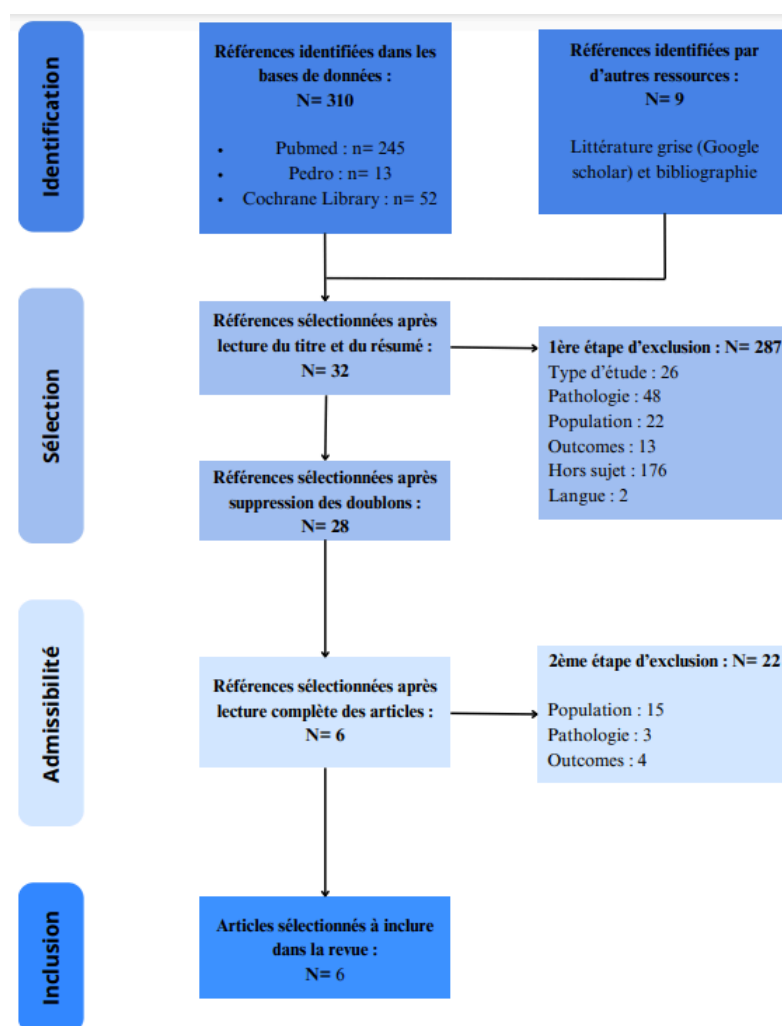


Figure 6 : Diagramme de flux du processus d'inclusion des études

3.1.2 Études exclues

La recherche menée dans la littérature scientifique a permis d'identifier 319 articles. 287 d'entre eux ont été exclus après la lecture du titre et du résumé. Après la suppression des doublons, 28 articles sont soumis à la lecture intégrale et 22 d'entre eux ont pu être exclus (*annexe 3*). Ces études ne répondaient pas aux critères de population, aux outcomes recherchés ou à la pathologie. 4 articles n'étudient pas de facteurs de risque de la FS et 3 articles ne distinguent pas la FS des autres pathologies de stress. Enfin, les sujets recrutés dans 15 études font partie de la National Collegiate Athletic Association (NCAA). Cette ligue universitaire américaine est une porte d'entrée dans le monde professionnel et les athlètes sont très encadrés (coach, préparateur physique, etc).

3.1.3 Études incluses

Six études respectent les critères énoncés dans la partie « Méthode » et ont pu être incluses dans cette revue de littérature. Les études sont parues entre 2015 et 2021 et analysent un ou plusieurs facteurs de risque potentiels liés à la fracture de stress chez des coureurs non-professionnels et non-accompagnés. Plusieurs schémas d'études ont pu être identifiés pour décrire les différents facteurs de risque : deux études de cohorte, trois études cas-témoins et un rapport de cas.

Les articles sont référencés dans le tableau suivant (tableau VI) :

Tableau VI : Références des études incluses

Auteur	Date	Titre	Type d'étude
Johnston (39)	2020	Perceptions of risk for stress fractures: A qualitative study of female runners with and without stress fracture histories	Etude de cohorte
Johnston (40)	2020	Physiological Factors of Female Runners With and Without Stress Fracture Histories: A Pilot Study	Etude de cohorte
Johnston (41)	2021	Risk Factors for Stress Fractures in Female Runners: Results of a Survey	Etude cas-témoin
Popp (42)	2017	Bone strength estimates relative to vertical ground reaction force discriminates women runners with stress fracture history	Etude cas-témoin
Meardon (43)	2015	Bone stress in runners with tibial stress fracture	Etude cas-témoin
Burger (44)	2020	If the shoe fits... should you just wear it? A complete calcaneal stress fracture in a female recreational runner	Rapport de cas

3.1.3.1 Population

Les études incluses sont réalisées sur une population allant de 1 personne dans l'étude de Burger et al à 1647 personnes dans l'étude de Johnston et al de 2021 (41,44). Au total, l'analyse de cette revue de littérature repose donc sur un échantillon de 1806 personnes, toutes pratiquant la course à pied de manière individuelle et récréative. La composition de celle-ci est hétérogène au niveau des genres avec 0,7% d'hommes (n=12) pour 99,3% de femmes. Les sujets ont tous entre 18 et 79 ans. Cependant, les moyennes d'âge sont très différentes selon les études : l'étude de Meardon et al contient une population assez jeune avec une moyenne de 23,6 ans, alors que Johnston (2021) relève une moyenne de 48,5 ans.

Dans chaque étude, les participants appartiennent à un groupe : le groupe FS (un ou des antécédents de FS) ou le groupe témoin NFS (sans antécédent de FS).

Le tableau suivant (tableau VII) identifie les caractéristiques de chaque groupe, précisant le nombre, les âges et le genre :

Tableau VII : Synthèse des caractéristiques de la population incluse

Caractéristiques de la population au sein des études						
Auteur / Année	Groupe FS			Groupe NFS, groupe témoin		
	Nombre	Âge	Sexe	Nombre	Âge	Sexe
Johnston 2020 (a)	n = 20	22-50 ans moy : 35,1 +/- 7,2 ans	F	n = 20	22-50 ans moy : 34,3 +/- 7,7 ans	F
Johnston 2020 (b)	n = 20	22-50 ans moy : 35,1 +/- 7,2 ans	F	n = 20	22-50 ans moy : 34,3 +/- 7,7 ans	F
Johnston 2021	n= 419	18-79 ans moy : 38,9 +/- 11,8 ans	F	n = 1229	18-79 ans moy = 40,6 +/- 11,3 ans	F
Popp 2017	n = 15	18-39 ans moy : 27 +/- 2,7 ans	F	n = 15	18-39 ans moy : 30,9 +/- 2,6 ans	F
Meardon 2015	n = 23	moy : 23,5 +/- 6 ans	6 M 17 F	n = 23	moy : 23,7 +/- 3,7 ans	6 M 17 F
Burger 2020	n = 1	43 ans	F	n = 0		

3.1.3.2 Pathologie et localisation

Toutes les études s'intéressent aux fractures de stress des membres inférieurs. Les os concernés par cette blessure sont : le tibia et la fibula (n=226) ; les métatarses (n=171) ; la hanche, le bassin et le sacrum (n=64) ; le médio pied, naviculaire et cunéiforme (n=46) ; le fémur (n=52) ; le calcaneus (n=32) ; la colonne lombaire (n=6) ; les os sésamoïdes (n=1). Seul l'article de Popp et al ne précise pas les sites de fracture. L'article Meardon et al est spécifique

de la fracture du tibia quand celui de Burger porte sur une fracture de stress du calcaneus (42–44).

3.1.3.3 Facteurs de risque évalués

Les différents facteurs de risque étudiés à travers les articles inclus peuvent être regroupés en plusieurs catégories :

- **Données personnelles et démographiques** : âge, taille, poids, indice de masse corporel (IMC), race, niveau d'éducation, lieu de résidence ;
- **Facteurs liés au cycle menstruel** : âge des premières menstruations, durée du cycle menstruel, absence de règle de plus de 6 mois, phase actuelle du cycle, durée d'une période de règles, nombre de cycle par an, contraception ;
- **Facteurs liés à l'entraînement** : Fréquence, distance, allure, années de pratique, âge de début de la CAP, progressivité de l'entraînement, type de chaussure, système de gestion, entraînement croisé ;
- **Antécédents médicaux et facteurs alimentaires** : autres pathologies liées à la course, problèmes médicaux associés, prise régulière de médicaments ou de compléments alimentaires ;
- **Mesures anthropométriques et biomécaniques** : longueur tibiale, densité minérale osseuse, géométrie osseuse, résistance osseuse liée à la charge, stress tibial.

Afin de faciliter la compréhension et la comparaison, les informations essentielles de chaque article ont été synthétisées dans le tableau suivant (tableau VIII) :

Tableau VIII : Synthèse des caractéristiques des études incluses à la revue

Tableau des caractéristiques des études incluses					
Auteur / Année	Type d'étude	Objectifs de l'étude	Population	Facteurs de risque étudiés	Protocole
Johnston 2020 (a)	Etude de cohorte	(1) Comparer les facteurs liés à la perception de la santé osseuse et à la prévention de la FS (2) Comprendre les expériences des femmes avec la communauté médicale concernant le diagnostic, le traitement et la reprise de course	Effectif : 40 (2 groupes : 20 FS* et 20 NFS*). Age : 22-50 ans Sexe : F Aucune limite d'intensité, de durée ou de distance de course.	Lésion musculo-squelettiques antérieures ou récurrentes ; modèles d'activité et régimes d'entraînement ; nutrition ; prévention et intervention ; douleur ; état d'esprit ; expérience avec la communauté médicale ; changements apportés après la blessure	Entretien qualitatif semi-structuré - Rédaction et classification, en fonction de l'importance relative perçue, jusqu'à 10 facteurs susceptibles d'être une cause de la FS. - Approfondissement des pensées des participantes par des questions d'un auteur.
Johnston 2020 (b)	Etude de cohorte	Comparer des mesures physiologiques entre des femmes ayant ou non des antécédents de FS	Effectif : 40 (2 groupes : FS et NFS). Âge : 22-50 ans Sexe : F Aucune limite d'intensité, de durée ou de distance de course.	Statut menstruel, caractéristiques liées à l'entraînement en course à pied, composition corporelle (composition sanguine, densité osseuse, facteurs hormonaux)	Questionnaire en ligne pour les données démographiques Prise de sang pour les facteurs nutritionnels et hormonaux. Absorptiométrie pour mesurer la densité minérale osseuse
Johnston 2021	Etude de cas-témoin	(1) Identifier les facteurs de risque potentiels entre les coureuses ayant ou non des antécédents de FS. (2) Identifier ce que les coureuses ont changé, le cas échéant, après avoir connu une FS.	Effectif : 1647 Âge : 18-79 Sexe : F	Age, taille, poids, indice de masse corporel, race, éducation, lieu de résidence. Caractéristiques de l'entraînement en CàP, entraînement croisé. Nutrition. Antécédents de blessures en CàP. Histoire médicale et menstruelle, type de contraception.	Enquête en ligne : - groupe FS : questionnaire de 39 questions sur les facteurs intrinsèques et extrinsèques de FS. - groupe NFS : 34 questions pour les NFS.

Popp 2017	Etude cas- témoin	(1) Déterminer les différences de densité minérale osseuse. (2) évaluer les différences de résistance osseuse par rapport à la charge chez les coureuses de fond de compétition avec et sans antécédents de FS.	Effectif : 30 (FS = 15 ; NFS =15) Âge : 18-39 ans Sexe : F . Distance minimale de course de 32 km par semaine, avec minimum 3 courses terminées dans l'année.	Densité et géométrie osseuse, force de réaction du sol, résistance osseuse.	Mesures anthropométriques : taille, poids, longueur tibiale Questionnaire : histoire médicale, blessures liées à la pratique sportive, histoire de l'entraînement, histoire et statut menstruel et contraceptif, antécédents de FS, habitudes alimentaires. Mesures osseuses tibiales : densité minérale, géométrie, résistance. Mesure de force de réaction au sol sur tapis roulant.
Meardon 2015	Etude cas- témoin	(1) Examiner les différences dans le stress osseux chez les coureurs avec et sans antécédents de fracture de stress du tibia. (2) Identifier les géométries osseuses et les charges appliquées qui prédisent le stress osseux.	Effectif : 46 (FS = 23 ; NFS = 23) Âge : 23,6 +/- 4,9 Sexe : 12 M et 34 F Distance moyenne parcourue de 16 km par semaine. Courir au moins 50% du kilométrage hebdomadaire avant la FS.	Stress tibial (contraintes en traction et en compression sur le tibia)	Mesures du stress tibial grâce à l'association d'un modèle du corps rigide(caractéristiques articulaires) et d'un modèle musculo-squelettiques (forces musculaires). La géométrie osseuse est aussi intégrée au calcul par des mesures antéro-postérieure et médiale-latérale des parties médullaires et périostée du tibia.
Burger 2017	Rapport de cas	Exposer l'influence potentielle de la transition d'une chaussures de course amortissante traditionnelle à une chaussures de type minimaliste.	Effectif : 1 Âge : 43 ans Sexe : F Distance parcourue entre 50 et 60 km par semaine avant la blessure. 17 courses terminées entre 5 et 21 km.	Changement de type de chaussures de course	

*FS : antécédents fracture de stress lié à la course à pied ; NFS : sans antécédent de fracture de stress

3.2 Qualité méthodologique des études incluses

3.2.1 Grilles d'analyses utilisées

Les critères détaillés des différentes échelles utilisées sont disponibles en *annexe 4* et *5*. Le choix de l'échelle est déterminé par le type d'étude.

3.2.1.1 Echelle Newcastle-Ottawa (NOS)

Le tableau suivant synthétise l'analyse des biais retrouvés dans les études de cohorte et les études de cas-témoin inclus dans la revue.

Tableau IX : Synthèse des biais recensés des études de cohorte et études de cas-témoin

NOS	Sélection				Comparabilité	Résultats / Exposition			Score total (/9)
Auteurs	Critères								
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Johnston 2020 (a)	X	X		X	XX	X	X	X	8
Johnston 2020 (b)	X	X		X	XX	X	X	X	8
Johnston 2021	X	X	X	X	X		X		6
Popp 2017	X	X	X	X	XX		X	X	8
Meardon 2015	X	X	X	X	XX	X	X	X	9

3.2.1.2 Echelle JBI Critical Appraisal Checklist for Case Reports

Le tableau suivant synthétise l'analyse des biais retrouvés dans le rapport de cas inclus.

Tableau X : Synthèse des biais du rapport de cas inclus

JBI Critical Appraisal Checklist for Case Reports								Score total	
Auteurs	Critères								
	1	2	3	4	5	6	7		8
Burger 2020	X	X	X	X	X	X		X	7

3.2.2 Synthèse des biais méthodologiques des études incluses

➤ Biais de sélection

L'étude cas-témoin de Johnston et al (2021) comporte des risques dans l'attribution des sujets dans les groupes puisqu'elle s'appuie sur un questionnaire partagé sur internet. Les auteurs

n'ont aucune visibilité sur l'identité des sujets, leur intérêt pour la thématique et l'implication dans le remplissage du questionnaire.

Au regard des études incluses, un biais de sélection lié au sexe est notable, avec une très grande majorité de femmes incluses.

Malgré tout, les sujets exposés apparaissent représentatifs de la population étudiée dans l'ensemble des études. La sélection du groupe témoin, non exposé à la fracture de stress, a été respectée dans chaque étude.

➤ Biais de comparabilité inter-groupe

Tous les articles étudient plusieurs facteurs de risque potentiels et appliquent le même protocole sur l'ensemble des groupes. En revanche, dans l'étude de Johnston et al (2021), les groupes cas et témoins sont très hétérogènes avec un groupe témoin 3 fois supérieur au groupe de cas. De plus, les seuls critères maîtrisés par cette étude sont le sexe et l'exposition ou non à une fracture de stress. A contrario, les autres études sont composées de groupes homogènes avec un certain contrôle supplémentaire sur l'âge, le nombre d'années de pratique de la course ou la distance de course effectuée dans la semaine. Les études de cohorte de Johnston et al attribuent par paire 1 sujet FS et 1 sujet NFS. Lorsqu'un des deux sujets est non-répondant à une mesure, la valeur de son binôme est alors exclue de l'analyse de données. Cette situation est intervenue lors de deux mesures qui sont exclues dans les résultats lorsque l'un des deux n'a pas répondu au protocole. Cela renforce la comparabilité des groupes.

➤ Biais d'exposition

Pour inclure les sujets dans chaque groupe, seule l'étude de Meardon s'appuie sur un examen clinique et radiologique mené par un professionnel pour inclure les participants dans le groupe ayant des antécédents de fracture de stress. Ainsi, les autres études incluses se suffisent d'une auto-déclaration des participants à travers un questionnaire d'entrée.

➤ Biais liés aux résultats

Les études de cohorte de Johnston ont un système d'évaluation des critères de jugement indépendant (39,40). Cependant dans les deux études, la mise en aveugle des expérimentateurs n'est pas mentionnée. Burger et al (2020), dans leur étude, n'identifient pas d'élément indésirable alternatif pouvant être responsable de la situation et qui pourrait orienter les résultats différemment.

➤ Autres biais

Les études de Johnston et al (2020, b), Popp et al (2017) et Meardon et al (2015), présentent un **biais de mesure** associé aux paramétrages des outils de mesure et aux différentes techniques de mesure utilisées pour un même paramètre. Les méthodes par entretien et questionnaire, utilisées dans l'étude de cohorte de Johnston et al (2020, a) et son étude cas-témoins (2021) sont soumises au **biais du répondant** si le sujet ne se sent pas concerné par les questions ou s'il répond en fonction des attentes qu'il perçoit. De plus, ces méthodes engendrent également un **biais de non-réponse** si le sujet ne comprend pas les questions, ce qui influence les données obtenues.

3.3 Résultats et effets de l'intervention sur les critères de jugement

3.3.1 Présentation des résultats obtenus dans les études non-statistiques

➤ **Étude de Johnston et al 2020 (a) (39).**

Les résultats de cette étude sont obtenus par l'analyse et la comparaison des réponses, suite à un entretien semi-structuré, chez des coureuses à pied ayant des antécédents de fracture de stress (groupe FS, n=20) ou sans antécédent de fracture de stress (groupe NFS, n=20). Aucune valeur statistique n'est présentée dans cet article. Tous les résultats obtenus sont issus de discours auto-rapportés par les participants (*annexe 6*).

Les deux groupes ont identifié l'influence d'autres blessures dans le mécanisme d'apparition de la FS. Les participants font émerger des facteurs liés au régime d'entraînement : le manque de progressivité, un changement dans le schéma de course, la surface de course, la météo, les horaires d'entraînement ou encore la fatigue. Sur le plan nutritionnel, les carences nutritionnelles (calcium, vitamine D) et le manque d'apport calorique sont reconnues par le groupe FS. Les deux groupes disent avoir recours à des suppléments nutritionnels. Les sujets du groupe NFS ont l'habitude de pratiquer l'entraînement croisé (natation) ce qui n'est pas le cas dans le groupe FS.

➤ **Etude de Burger et al 2020 (44)**

Dans ce rapport de cas, le facteur étudié est le changement de chaussures lors des entraînements en course à pied. Le sujet est une femme de 43 ans présentant une fracture de stress du calcaneus liée à la course à pied et identifiée par radiographie. Celle-ci intervient lors du passage d'une chaussure traditionnelle à une chaussure minimaliste. D'après La Clinique du Coureur, l'indice minimaliste se compose d'une épaisseur au talon réduite, d'un

faible poids, d'une plus grande flexibilité, d'un faible drop et de l'absence de technologie de stabilité (16). Les douleurs au talon sont apparues dans les trois semaines après le changement de chaussures. En parallèle, la coureuse ne présente aucune anomalie de densité minérale osseuse ou autre problème médical. Elle a un IMC normal de 19,24 (45).

3.3.2 Présentation des résultats obtenus dans les études statistiques

Les tableaux des résultats détaillés par article sont disponibles en annexe (*annexes 7 à 12*).

3.3.2.1 Facteurs liés aux données personnelles et démographiques

AGE, POIDS, TAILLE : Les études de Johnston et al (2021) et Popp et al (2017) analysant ces 3 facteurs retrouvent une différence statistiquement significative intergroupe ($p < 0,05$). Cependant, Johnston et al mettent en évidence le manque de significativité clinique et l'absence d'effet de l'âge sur l'apparition des fractures des stress ($OR = 0,98$, $IC95\% [0,97;1,00]$).

IMC : Les études de Johnston et al (2020, b) et Popp et al n'exposent aucune différence statistiquement significative entre les groupes concernant l'IMC ($p = 0,36$ et $p = 0,30$). De plus, la taille d'effet est décrite comme faible ($ES = 0,28$) par Johnston et al (2020, b). En revanche, la différence est statistiquement significative dans l'étude de Johnston et al 2021 ($p < 0,01$).

RACE, ÉDUCATION, LIEU DE RÉSIDENCE : La comparaison des lieux de résidence met en évidence un risque plus faible d'apparition de la fracture de stress chez les sujets urbains par rapport aux suburbains ($OR = 0,73$, $IC95\% [0,54;0,99]$), et, un risque d'apparition équivalent entre les sujets ruraux et suburbains ($OR = 1,08$, $IC95\% [0,74;1,58]$). Cependant, aucune différence significative ($p > 0,05$) n'est retrouvée pour ces critères dans l'étude de Johnston et al (2021).

3.3.2.2 Facteurs liés au statut menstruel

DURÉE DU CYCLE MENSTRUEL, PHASE ACTUELLE DU CYCLE, DURÉE DE LA PERIODE DE REGLES, NOMBRE DE CYCLES PAR AN, TYPE DE CONTRACEPTION : Aucune différence statistiquement significative intergroupe n'est mise en évidence dans les études répertoriant ces facteurs (Johnston 2020 b, Johnston 2021 et Popp 2017): p -value comprise entre 0,53 et 1,00 ($p > 0,05$).

ÂGE DES PREMIÈRES MENSTRUATIONS : L'étude de Johnston 2021 apporte des données statistiquement significatives entre les groupes FS et NFS ($p < 0,01$) en fonction de la catégorie d'âge d'apparition des premières règles chez les jeunes femmes. Néanmoins, un âge

inférieur à 12 ans lors des premières menstruations, comparé à la tranche 13-15 ans, ne semble pas plus à risque de FS (IC95% [0,61;1,06]). De même, l'effet clinique est très limité pour celles ayant connu cette période après 16 ans (OR 1,62, IC95% [0,93;2,80]). Popp et al et Johnston et al (2020,b) ne retrouvent pas de différence significative dans leurs études ($p>0,999$).

ABSENCE DE REGLES POST-PARTUM (>6 mois) : L'étude de Johnston et al (2021) indique qu'il existe un lien entre ce critère et la survenue d'une fracture de fatigue. On retrouve 40,6% de femmes du groupe FS présentant l'absence de règles post-partum supérieure ou égale à 6 mois, contre seulement 27,5% du groupe NFS ($p<0,01$). Cet article considère également que les coureuses présentant ce facteur ont 1,45 fois plus de chance de contracter une fracture de stress par rapport aux autres (OR=1,45, IC95% [1,10;1,91]).

3.3.2.3 Facteurs liés à l'entraînement

FRÉQUENCE des entraînements par semaine, DISTANCE parcourue par semaine (pendant et hors saison), ALLURE de course, ANNÉES DE PRATIQUE : Johnston (2021) attribue un lien statistique entre ces critères pris séparément et l'apparition d'une fracture de stress chez les coureuses ($p<0,01$). Cette différence statistiquement significative n'est cependant pas retrouvée dans les études de Johnston (2020, b) et Popp (2017). L'étude de 2021 met également en avant un risque plus élevé de FS chez les coureuses lorsque la distance dépasse 20 miles (32 km) par semaine en comparaison avec celles courant entre 11 et 20 miles (OR>1,74). Ce même article montre un effet bénéfique d'une plus faible allure de course pour prévenir les risques de FS (OR<0,54).

AGE de début de la course à pied, PROGRESSIVITÉ de l'entraînement, TYPE DE CHAUSSURES : D'après les résultats de Johnston et al (2020, b), l'âge de début de la course à pied n'apparaît pas comme un critère significatif ($p=0,96$). Les résultats obtenus dans l'étude de Johnston et al (2021) n'apportent également aucune statistique significative concernant le type de chaussures utilisé et la progressivité dans l'entraînement .

ENTRAÎNEMENT CROISÉ : Seulement étudié par Johnston (2021), l'entraînement croisé par la pratique du cyclisme semble multiplier le risque de FS par 1,51 chez les coureuses (OR=1,51, IC95% [1,16;1,97], $p<0,01$). La randonnée semble plutôt protectrice face à cette pathologie (OR=0,72, IC95% [0,55;0,94]) mais les résultats ne sont pas considérés comme statistiquement significatif ($p=0,35$).

GESTION de l'entraînement : Johnston (2021) met en avant une différence statistique significative intergroupe pour les coureuses ayant recours à un coach ($p<0,01$) ou à des

livres/applications ($p=0,04$) pour la planification de leurs entraînements. Cependant, le risque de contracter une FS est multiplié par 1,40 lorsque les entraînements sont encadrés par un coach ($OR=1,40$, $IC95\%$ [1,01;1,94]).

3.3.2.4 Facteurs liés aux antécédents médicaux et à la nutrition

Ces facteurs ont seulement été étudiés par Johnston et al (2021) (41).

ANTÉCÉDENTS DE PATHOLOGIE LIÉS A LA COURSE : Des antécédents de périostite tibiale multiplient par 3,24 le risque de FS ($IC95\%$ [2,38;4,39], $p<0,01$). Un épisode de blessure tendineuse favorise également ce risque ($OR=1,47$, $IC95\%$ [1,07;2,01], $p<0,01$). D'autres pathologies (tension musculaire, syndrome fémoro-patellaire, fasciite plantaire, syndrome de la bandelette ilio-tibiale) apparaissent statistiquement significatives dans le risque de développer une FS ($p<0,01$). Parallèlement, ne présenter aucun antécédent de blessure réduirait de manière significative le risque de FS ($p<0,01$).

PROBLÈMES MEDICAUX ASSOCIES : Des différences intergroupes significatives sont retrouvées pour trois pathologies chez les coureuses : l'asthme, l'ostéopénie et l'ostéoporose ($p<0,01$). Les coureuses présentant de l'asthme ont 1,43 fois plus de risque de FS en moyenne ($IC95\%$ [1,01;2,02]). Lorsqu'elles présentent de l'ostéopénie, le risque est multiplié par 4,14 ($IC95\%$ [2,38;4,39]). L'absence de pathologies associées présente également une différence statistique significative entre les deux groupes ($p<0,01$). .

PRISE RÉGULIÈRE DE MÉDICAMENTS : La consommation d'anti-inflammatoires non stéroïdiens (AINS) ($p<0,01$) ou d'anti-allergiques ($p=0,04$) plus de 3 fois par semaine apporte des différences significatives entre les deux groupes. De plus, la prise de médicaments contre les allergies réduirait les risques de FS ($OR=0,42$, $IC95\%$ [0,18;0,97]).

PRISE RÉGULIÈRE DE COMPLÉMENTS ALIMENTAIRES : La consommation de calcium, de probiotiques ou de vitamines D au moins 3 fois par semaine en tant que compléments alimentaires augmente le risque de FS ($OR=1,78$ pour le calcium ; $OR=1,47$ pour les probiotiques ; $OR=1,54$ pour les vitamines D). Ces données sont statistiquement significatives ($p<0,01$). Malgré l'absence de différence intergroupe ($p=0,55$), la prise d'oméga 3s pourrait être un facteur de protection face à la FS ($OR=0,51$, $IC95\%$ [0,35;0,94]).

3.3.2.5 Facteurs liés aux mesures anthropométriques et biomécaniques

LONGUEUR TIBIALE : Aucune différence significative intergroupe n'a été retrouvée dans l'étude de Popp ($p=0,31$) (42).

DENSITÉ VOLUMÉTRIQUE, GEOMETRIE : Popp et al ont mesuré plusieurs paramètres osseux à 6 localisations tibiales (15 à 66%, du distal au proximal) : l'aire totale, l'aire corticale, la densité corticale, l'indice de déformation et le module de section. A 25% et 33%, aucune différence significative n'apparaît pour ces critères entre les deux groupes. A 15% et 45% du tibia, les aires corticales du groupe FS sont significativement inférieures à celles du groupe NFS (15% $p=0,01$; 45% $p=0,05$). De plus, les modules de section au tiers moyen du tibia (45% et 50%) sont significativement inférieurs pour le groupe FS ($p=0,03$ et $p=0,04$), comme l'indice de déformation ($p=0,03$) à 50%.

FORCE DE RÉACTION AU SOL : L'étude de Popp montre que pendant toute la durée de la course, le groupe FS a une force de réaction du sol significativement plus élevée par rapport au groupe NFS (3% pour la jambe gauche, $p=0,006$; 4% pour la jambe droite, $p=0,001$).

RÉSISTANCE OSSEUSE : D'après Popp et al, il n'y a pas de différence significative aux 3 sites les plus distaux du tibia (15%, 25% et 33%, $p>0,05$). Les sites les plus proximaux (45%, 50% et 66%) présentent une résistance osseuse significativement plus faible pour le groupe FS par rapport au NFS ($p<0,05$, compris entre 0,007 et 0,03).

STRESS TIBIAL : Meardon et al étudient ce paramètre à travers plusieurs mesures : les contraintes en tension et en compression sur le 1/3 distal du tibia, ainsi que des mesures d'épaisseur osseuse. La tension sur la partie antérieure ($p=0,014$; $d=0,76$) et les contraintes en compression sur la partie postérieure du tibia ($p=0,036$; $d=0,64$) apparaissent modérément plus élevées pour le groupe FS d'après le D de Cohen (46). Elles sont aussi statistiquement significatives. Aucune différence significative n'est retrouvée entre les deux groupes concernant les contraintes médiales en traction et latérales en compression. Parallèlement, un manque de significativité des données est retrouvé pour l'ensemble des mesures d'épaisseur osseuse du tibia (p -value comprise entre 0,068 et 0,578).

3.3.3 Présentation des résultats concernant les applications mobiles

Le diagramme de flux (figure 7) retrace le processus de sélection et d'inclusion des applications répondant à l'ensemble de nos critères initiaux. 3 applications ont été retenues : Décathlon Coach, Kiprun Pacer Courir Running et 5K Run.

Dans un premier temps, de nombreuses applications n'avaient pas de lien avec la CAP ou ne proposaient pas de programme d'entraînement.

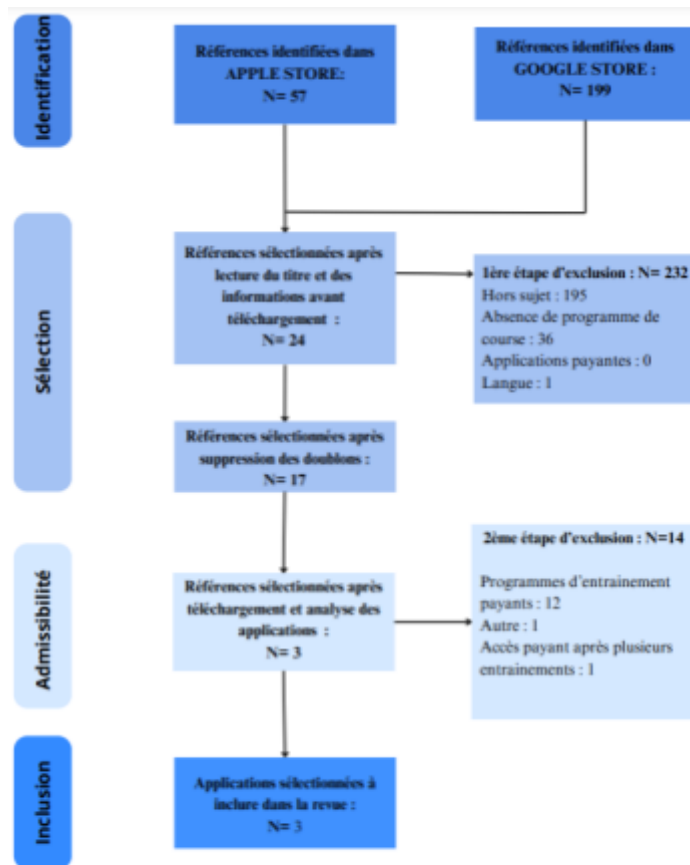


Figure 7 : Diagramme de flux du processus d'inclusion des applications

Dans un second temps, 12 applications proposent des programmes d'entraînement payants et 1 application ne permet que la planification : elles ont été exclues de l'analyse finale car les critères ne sont pas respectés. Enfin, pour 1 application, le programme d'entraînement proposé devient payant après plusieurs séances effectuées. Elle a donc été écartée avant l'inclusion définitive.

Les 3 applications de course à pied incluses et leurs caractéristiques sont répertoriées dans le tableau ci-dessous (tableau XI). Seules 2 d'entre elles proposent des conseils pour la pratique. De plus, 5K Run se différencie en étant seulement

présente sur le marché des applications Apple et en ne proposant qu'un seul programme d'entraînement non modulable. Décathlon Coach s'intéresse à un grand nombre de sports, dont la course à pied fait partie, contrairement aux 2 autres qui ciblent seulement la CAP.

Décathlon Coach et Kiprun se ressemblent sur bien des points mais la population cible est un peu différente : Kiprun vise un public déjà averti et connaisseur de la CAP, elle semble moins adaptée aux débutants. De plus, cette application n'est faite que pour la préparation de course (10, 21 ou 42 km).

Décathlon Coach propose des variations dans l'entraînement et de la progression entre les séances en termes d'allure, de distance et de temps (retrouvée également dans Kiprun). Les programmes de reprise de course ou débutant préconisent l'alternance course-marche. De plus, l'application Décathlon Coach propose un grand nombre de conseils sur différentes thématiques.

Tableau XI : Synthèse des caractéristiques des applications incluses à la revue

Tableau des caractéristiques des applications incluses				
Application	Base de données	Types de contenus proposés	Programmes d'entraînement en course à pied	Conseils en course à pied
Décathlon Coach	Apple Store / Google Store	- Séances, programmes d'entraînement et conseils sportifs pour différents sports : boxe, course à pied, fitness/cardio, marche, pilates/yoga, renforcement/musculation, triathlon et vélo indoor. - Création de séances personnelles. - Suivi et historique de l'entraînement - Entraînements et conseils réalisés par des professionnels et basés sur des références scientifiques. - Public cible : débutant à confirmé - Usage : santé, bien-être, loisirs, préparation de course	OUI 139 programmes sont présentés par l'application. Ils sont filtrés en fonction de la motivation et des objectifs sélectionnés par l'utilisateur. 3 type de séances : fractionné, allure cible, endurance fondamentale	OUI Conseils de nutrition (alimentation, compléments alimentaires, hydratation, menus, recettes), de récupération et spécifiques en fonction des activités proposées
Kiprun Pacer Courir Running	Apple Store / Google Store	- Plans d'entraînement personnalisés et planifiés en fonction des caractéristiques et volontés de l'utilisateur. - Mise à disposition de vidéos explicatives et de conseils - Public cible : amateur à confirmé (nécessite d'avoir quelques notions en course à pied) - Usage : préparation d'une course (10, 21 ou 42km)	OUI 1 programme spécifique est proposé et planifié après que l'utilisateur ait rempli ses données personnelles, son objectif et sa motivation (ex : préparation d'un 10km en moins de 1h). 4 types de séance : fractionné, allure cible, endurance fondamentale et repos.	OUI Conseils pour chaque séance d'entraînement : - nutrition entre les séances (proposition de repas) - pendant la séance (hydratation, nutrition sportive) - après la séance (massage, avec pistolet, chaussettes de compression, déclive)
5K Run	Apple Store	- Plan d'entraînement unique. Progressivité et suivi de des entraînements dans le temps.	OUI Un seul programme standard non modifiable pour courir 5km. Augmentation progressive de l'entraînement (augmentation de 100 mètres de course supplémentaires à chaque séance, début à	NON

4. Discussion

4.1 Analyse des résultats principaux

4.1.1 Limites et hétérogénéité des études incluses

➤ Caractéristiques de la population

Cette revue de littérature s'appuie sur un large échantillon de 1806 coureurs, variant de 1 sujet dans l'étude de Burger et al, jusqu'à 1648 personnes dans celle de Johnston et al (2021). Cependant, seulement 12 hommes sont décomptés pour 1794 femmes, ce qui n'est pas représentatif de la population générale. Le choix des participants au sein des études peut s'expliquer par le fait que les femmes sont reconnues comme étant plus sujettes à la fracture de stress que les hommes (27). C'est pourquoi, malgré le grand nombre de participants, il semble difficile de généraliser les résultats à la population générale. Il conviendra d'attribuer majoritairement les résultats sur la population féminine pratiquant la course à pied. De plus, l'étude de Johnston (2021) comprend 1648 sujets, soit 91% de la population totale de la revue. Les données issues de cet article ont donc nécessairement un poids plus élevé que celles des autres études dans notre analyse.

En outre, les âges des participants au sein des études s'étendent de 18 à 79 ans, ce qui augmente les chances que l'échantillon soit représentatif de la population générale. Néanmoins, les moyennes d'âge sont très disparates, allant de 23,6 ans dans l'étude de Meardon à 48,5 ans dans celle de Johnston (2021), ce qui complique la comparaison des résultats entre les études (tableau VII) (41,43).

Les critères d'inclusion des sujets varient entre les études concernant la pratique de la course à pied. Les trois études de Johnston ne précisent aucune limite particulière en termes d'intensité, de temps ou de distance. Ce n'est pas le cas des études de Popp et Meardon qui imposent des critères de distance particuliers (tableau VII).

➤ Types d'étude et méthode de recueil des données

Cette revue de littérature intègre plusieurs types d'articles (2 études de cohorte, 3 études cas-témoin et 1 étude de cas) avec des méthodes différentes : 2 études qualitatives (Johnston

2020 (a) et Burger 2020) et 4 études quantitatives (Johnston 2020 (b), Johnston 2021, Popp 2017 et Meardon 2015).

Les méthodes de recueil des données dans chaque article varient en fonction du type d'étude. Johnston et al (2020, a) s'appuient sur un entretien semi-structuré reposant sur les paroles des sujets quand les études de Popp et Meardon reposent sur des mesures objectives amenant vers des résultats statistiques. Johnston et al (2021) utilisent un questionnaire en ligne pour recueillir des données conséquentes mais cette méthode contient plusieurs biais (biais de sélection, de répartition et biais du répondant).

L'ensemble des différences concernant le type d'article et les méthodes de recueil des données compliquent l'analyse et la comparaison des résultats entre les études.

➤ Biais méthodologiques

La qualité méthodologique de 5 des 6 articles inclus se révèle bonne à très bonne au regard de l'analyse effectuée grâce aux échelles Newcastle-Ottawa et JBI Critical Appraisal Checklist for Case Reports. En revanche, l'étude de Johnston et al (2021), qui apparaît comme ayant le plus de poids dans cette revue au regard de la population qu'elle englobe, possède un biais important concernant l'exposition des sujets mais aussi la sélection. Ces biais sont issus avant tout de la méthode utilisée (partage d'un questionnaire sur différentes plateformes de coureurs à pied) où les réponses dépendent essentiellement du bon vouloir des participants. Malgré le grand nombre de sujets inclus, il convient de nuancer les résultats obtenus par cette étude compte tenu de sa qualité méthodologique.

4.1.2 Les facteurs intrinsèques

Les facteurs intrinsèques sont les caractéristiques non-modifiables présentes chez les individus. Dans cette revue, cela prend en compte les facteurs personnels, démographiques, menstruels, anthropométriques et biomécaniques.

➤ **Caractéristiques individuelles (âge, poids, taille, IMC)**

D'après les études de Johnston et al (2021) et Popp et al (2017), les sujets plus jeunes sont statistiquement plus touchés par la fracture de stress. L'âge n'a pas de lien avec l'augmentation des chances de développer une FS selon Johnston (OR 0,98, IC95% [0,97;1,00]) (41).

Par ailleurs, le poids et la taille sont inférieurs dans les groupes FS mais aucun effet réel n'a été mesuré pour ces 2 critères. Les données apparaissent similaires à la population générale : les sujets de plus petite taille ont généralement un poids inférieur aux sujets de grande taille.

De plus, l'étude de Johnston (2020,b) confirme le faible effet de l'IMC sur l'apparition des FS chez les coureurs (ES : $d=0,28$, taille d'effet faible selon le D de Cohen). Une étude de Tenforde et al, portée sur les adolescents et reprise dans la revue de Wright, démontre un lien significatif entre un $IMC < 19$ et l'augmentation du risque de FS (OR 2.76, IC95% [1.18;6.46]) (28). **⇒ L'âge et la taille sont deux critères non-modifiables dont les preuves apparaissent limitées. Les études incluses à cette revue ne présentent que des IMC considérés comme normaux d'après la HAS ce qui ne permet pas de conclure sur son impact réel (45). Cependant, une ancienne étude avance son implication dans le mécanisme de FS lorsque celui-ci est faible (< 19) (28). De plus, la littérature apporte des preuves qu'un faible IMC constitue un facteur de risque de fragilité osseuse (ostéoporose) et de fracture (47). Il convient donc de surveiller ce paramètre intrinsèque chez les coureurs.**

➤ Lieu de résidence

Selon Johnston et al (2021), les urbains (résidence dans les grandes villes) ont un moindre risque de FS que les personnes habitant en périphérie des grandes villes (OR 0,73) (41). Un intervalle de confiance compris entre 0,54 et 0,99 et une absence de différence significative entre les groupes ($p=0,46$) ne permettent pas d'affirmer un lien réel entre le lieu de résidence et la FS. Néanmoins, il est possible de considérer que le lieu de résidence conditionne la surface de course. Aucune étude ne prouve l'effet néfaste d'un type de surface particulier par rapport à un autre. Cependant, les changements réguliers de surface de course sont prédictifs de blessures d'après une revue de Warne et al (48). **⇒ L'influence du lieu de résidence paraît minime dans l'apparition de la FS chez les coureurs. Toutefois, si l'on considère la surface de course comme un déterminant du lieu de résidence, une variation des surfaces au cours de l'entraînement pourrait être un facteur impliqué dans l'apparition de la blessure. De nouvelles recherches sur l'effet de la surface paraissent nécessaires pour mieux comprendre son rôle dans l'apparition des FS.**

➤ Caractéristiques liées au cycle menstruel

Trois études s'intéressent à l'âge des premières menstruations chez la femme. Des résultats significatifs intergroupes apparaissent dans l'étude de Johnston (2021). Cependant, l'effet de

ce facteur apparaît très limité (*annexe 8*). En revanche, une étude de 2013 de Tenforde et al a trouvé un risque 5 fois plus élevé de FS chez les femmes ayant connu leurs premières menstruations après 15 ans (OR 5.30, IC95% [2.11;13.34]) (28). **⇒ Les résultats apportés par cette revue entrent en contradiction avec ceux d'une autre étude. Dans la majorité des cas, le début du cycle menstruel chez la femme débute avant 15 ans et n'a aucun effet sur le risque de FS. Néanmoins, le retard des règles (>15 ans) pourrait s'accompagner d'un risque accru de FS.**

Après un accouchement, les femmes sont soumises à d'importantes modifications (physiologiques, hormonales, anatomiques...) et le retour des règles peut n'intervenir qu'après plusieurs mois (49). Une seule étude s'intéresse à l'absence de règles post-partum. 40% des femmes du groupe FS ont connu un épisode d'absence de règles de plus de 6 mois après un accouchement, contre seulement 27% du groupe NFS. Le risque de FS est multiplié par 1,45 lorsque ce facteur est présent (IC95% [1,10;1,91]). **⇒ L'absence de règles de plus de 6 mois après un accouchement engendre des modifications hormonales majeures. Le faible taux d'oestrogènes est la cause de l'aménorrhée et provoque une diminution de la densité osseuse (50). L'os est alors fragilisé du fait de sa plus faible résistance osseuse. Ce critère apparaît donc comme un élément à prendre en considération en vue de prévenir des risques de FS lors de la course à pied. Des preuves complémentaires sont primordiales afin de conclure d'un réel effet de ce facteur sur la FS.**

➤ **Antécédents médicaux**

Deux études identifient plusieurs pathologies musculo-squelettiques accentuant le risque de FS. Ce risque est notamment multiplié par 3,24 (IC95% [2,38;4,39]) pour des antécédents de périostite tibiale, et par 1,5 (IC 95% [1.07, 2.01]) dans le cadre d'une blessure tendineuse du membre inférieur. D'autres pathologies sont aussi plus retrouvées chez les groupes FS : syndrome de l'essuie-glace, syndrome fémoro-patellaire, fasciite plantaire et tension musculaire ($p<0,01$). Par ailleurs, aucun article de cette revue n'évoque le risque de récurrence de FS après un premier épisode. D'après la revue de Wright et al (2015), le risque de FS est majoré par 5 (IC95% [2,91;8,56], $p<0,01$) chez les sujets présentant déjà un antécédent de FS. **⇒ La FS faisant partie d'un continuum de blessures de surcharge et surutilisation, le risque est logiquement plus élevé lorsque l'individu présente des antécédents de ce type de pathologie. C'est un facteur fondamental à prendre en considération dans la prévention de la FS. L'éducation et une prise en soin optimisée face à ces premiers**

épisodes de blessures chez les coureurs pourraient être un levier intéressant dans le but de réduire le risque de FS (15).

L'asthme, l'ostéopénie et l'ostéoporose sont les trois pathologies significativement plus présentes chez les coureurs du groupe FS. L'effet de l'ostéopénie sur l'apparition d'un FS est important, avec un risque multiplié par 4,2 et un intervalle de confiance très large (2,38;7,17). Dans une moindre mesure, l'asthme serait également un risque de développer une FS (OR 1.43, IC95% [1.01, 2.02]). **⇒ L'ostéopénie et l'ostéoporose sont deux pathologies directement liées à la diminution de la masse osseuse et l'altération micro-architecturale du tissu osseux participant à sa fragilisation et au risque de fracture (51). Les individus présentant ces pathologies ont donc une résistance osseuse plus faible face aux contraintes. Le risque de FS est alors majoré. En revanche, ni l'asthme, ni ses traitements ne semblent altérer la composition osseuse du corps (52). D'autres études sur l'influence réel de l'asthme dans l'apparition des FS devraient être menées.**

➤ Paramètres anthropométriques et biomécaniques

L'aire de l'os cortical au niveau du tibia apparaît plus faible dans la partie distale du tibia chez les sujets ayant des antécédents de FS d'après Popp et al (42). Dans cette même étude, la résistance osseuse est significativement plus faible chez les sujets FS à la partie plus proximale du tibia. **⇒ L'aire corticale ne semble pas avoir de lien avec la résistance osseuse du tibia car les faiblesses retrouvées ont des localisations différentes. En revanche, au niveau du tibia, qui est l'os principalement touché par les fractures de stress, la résistance osseuse est un facteur prédisposant à la FS. Elle résulte de la densité et de la qualité osseuse. Cela suggère que la diminution de la densité minérale osseuse et de la densité corticale du tibia est un déterminant augmentant le risque de FS, malgré l'absence de preuve significative. Pour conclure, la diminution de la résistance osseuse fragilise l'os et l'expose aux fractures, dont la FS (51).**

Le stress tibial est calculé à partir de plusieurs déterminants : la géométrie osseuse, la force musculaire et la force de réaction du sol (43). Popp et al démontrent que la force de réaction au sol chez les sujets ayant des antécédents de FS est supérieure au sujet sans antécédents tout au long de l'activité de course. De plus, Meardon et al retrouvent dans leur étude que la tension sur le 1/3 inférieur et antérieur du tibia lors de la course à pied est un facteur de risque significatif avec un effet élevé sur l'apparition de la FS ($d=0,76$; $p=0,014$). De même, le stress tibial en compression se manifeste comme un critère de risque avec un effet modéré

($d=0,64$, $p=0,036$). $\Rightarrow$ **Le stress tibial apparaît comme un critère essentiel lié à l'apparition de la FS du tibia. Son augmentation est liée à la hausse de la force de réaction du sol. Cela signifie que ce stress varie en fonction des contraintes appliquées sur le tissu. D'après la littérature, la technique de course peut être une cause de l'augmentation de ce stress mécanique mais aussi une solution pour le réduire. Dans une autre étude, Meardon démontre que la compression sur la face postérieure du tibia et la tension sur la surface antérieure du tibia diminuent lorsque la largeur des pas augmente ($p=0,036$ et $p=0,029$) (53).**

4.1.3 Les facteurs extrinsèques

Les facteurs extrinsèques correspondent aux éléments modifiables par les coureurs dans leur pratique. Dans cette revue, ce sont les paramètres liés à l'entraînement, au type de chaussures, au système de gestion des séances, à l'entraînement croisé et à l'alimentation.

➤ Les paramètres de l'entraînement en course à pied

Johnston et al (2021) retrouvent une différence intergroupe significative pour la **fréquence hebdomadaire de course** ($p<0,01$), contrairement à l'étude de Johnston et al (2020,b). Cette différence est liée au protocole puisque la fréquence est un paramètre contrôlé entre les groupes dans l'étude de Johnston (2020, b). Plus la fréquence des séances augmente, plus le risque de FS augmente. Une revue de littérature de van Gent et al vient renforcer le fait que le risque de blessure augmente avec l'augmentation de la fréquence hebdomadaire (54). $\Rightarrow$ **La fréquence des séances au cours de la semaine fait partie des facteurs de risque de la FS. Ce paramètre de l'entraînement doit faire l'objet d'une vigilance accrue et d'une éducation auprès des coureurs amateurs. C'est un avantage qui réside dans l'utilisation des applications mobiles comme Decathlon Coach ou Kiprun. Ces applications conseillent et émettent des programmes d'entraînement fondés sur l'alternance entre séance et repos.**

Une étude met en avant une variation aléatoire de la **distance hebdomadaire parcourue** par les sujets présentant des antécédents de FS (39). Une seconde démontre que les sujets du groupe FS parcourent de plus longues distances par semaine que ceux du groupe NFS (41). Le risque de développer une FS est multiplié par 2 lorsque la distance dépasse les 21 miles par semaine (>32 km). En outre, une étude de Tenforde et al confirme que les athlètes parcourant plus de 32 km par semaine ont un risque de FS multiplié par 2,40 (OR 2.40, IC95% [1.20;4.82]) (28). De même, la revue de van Gent démontre un accroissement du risque plus

la distance de course par semaine est élevée (54). **⇒ Tout comme la fréquence de l'entraînement, la distance de course hebdomadaire augmente significativement le risque de FS, surtout lorsqu'elle est supérieure à 32 km par semaine. Une éducation des coureurs isolés sur l'augmentation progressive de la distance parcourue pendant leur entraînement semble nécessaire afin de permettre aux tissus corporels de s'adapter à l'augmentation des contraintes. Les applications de CAP sont élaborées pour gérer les paramètres de l'entraînement (fréquence et distance) ce qui participe à la prévention des blessures.**

Une seule des 2 études incluses retrouvent des différences significatives intergroupes concernant l'**allure moyenne de course**. Courir à une allure supérieure ou égale à 11 min/miles (6,8 min/km) apparaît comme facteur protecteur de la FS (OR 0,43, IC95% [0,26;0,73]) par rapport à l'allure la plus représentée dans les groupes (entre 9 et 9:59 min/miles soit entre 5,6 et 6 min/km). Aucune donnée ne montre un lien entre l'augmentation de l'allure de course et l'augmentation du risque de FS. Une revue met en avant la contradiction des preuves retrouvées concernant le lien entre l'allure de course et les blessures en course à pied (55). 8 de ces études incluses ne montrent aucune différence significative. Une seule avance un risque majoré lorsque l'allure est inférieure à 8 min/miles (5 min/km) et un risque minoré lorsqu'elle est supérieure à 15 min/miles (9 min/km). **⇒ L'allure moyenne de course ne semble pas être un indicateur majeur lié au risque d'apparition des FS chez les coureurs. Cependant, d'autres études doivent être menées pour définir l'impact réel de cette variable de l'entraînement.**

➤ Type de chaussures

L'étude de Burger et al identifie le changement de type de chaussures comme responsable de l'apparition d'une FS chez une coureuse. Cependant, des facteurs concomitants à ce changement peuvent aussi favoriser la FS de cette patiente. Johnston (2021) ne démontre pas de lien entre la FS et le type de chaussures utilisé lors de la course (minimaliste, neutre, stabilisante, autre). Le manque d'information sur l'enquête diffusée et le niveau de compréhension des répondants sur ce concept peuvent être identifiés comme des limites à l'interprétation des résultats. En revanche, une revue soutenue par la Cochrane Library souligne l'absence d'effet significatif d'un type de chaussures particulier sur la prévention des blessures (56). Cependant, une revue relève un risque plus élevé de fracture de stress au cours de la transition vers la chaussure minimaliste (57). La modification de la biomécanique de course causée par les caractéristiques spécifiques de chaque type de chaussures serait

responsable de cet accroissement du risque (58). **⇒ Le type de chaussures n'est pas un critère fondamental lié à l'apparition de la FS chez les coureurs. En revanche, la transition brutale d'un type de chaussures vers un autre semble accroître le risque de blessure de stress osseux. Dans un but de prévention, le changement de matériel se doit d'être progressif, comme le précise La Clinique du Coureur (16).**

➤ **Système de gestion et de coaching des entraînements**

Avoir recours à un coach pour la gestion des entraînements génère un risque 1,40 fois plus important de FS (IC95% [1.01, 1.94]) selon Johnston (41). L'utilisation de livres ou d'applications afin de prévoir ses entraînements a un taux plus important dans le groupe NFS (30,6% contre 25,5% du groupe FS). **⇒ De manière étonnante, l'entraînement géré par un coach semble plus à risque que lorsque les coureurs s'appuient sur des livres ou applications. Pourtant, les séances suivies par un coach sont plus facilement adaptables et faites sur-mesure que celles proposées par les applications. Le manque de preuves significatives demandent une pondération dans l'interprétation de ces résultats et nécessite des études complémentaires.**

➤ **Entraînement croisé**

La pratique du cyclisme en complément de l'entraînement en course à pied semble être un facteur de risque d'apparition de la FS (OR 1,51, IC95% [1,16;1,97]) d'après Johnston et al, tout comme la pratique de la natation (p=0,01). **⇒ Ces données sont étonnantes car le cyclisme et la natation sont deux activités exerçant un faible stress mécanique sur l'appareil locomoteur.**

➤ **Nutrition et habitudes alimentaires**

La **consommation régulière (>3 fois/semaine) d'anti-inflammatoires non stéroïdiens (AINS)** est significativement supérieure dans le groupe FS d'une étude incluse (p<0,01) (41). Une étude met en avant 4 utilisations principales des AINS chez des coureurs amateurs : augmenter la tolérance à la douleur, réduire l'inflammation, traiter une blessure et continuer la pratique malgré une blessure (59). En revanche, ces médicaments participent également à la fragilité osseuse. Les mécanismes déclenchés dans le corps peuvent entraîner un retard ou une mauvaise cicatrisation (60). **⇒ Les AINS permettent de réduire et masquer la douleur. Leurs actions sont également néfastes car ils modifient le remodelage et la cicatrisation osseuse (60). La consommation d'AINS doit être limitée chez les coureurs afin de préserver l'intégrité osseuse et prévenir le risque de FS.**

La **supplémentation en calcium, probiotiques et vitamines D** se distingue par l'augmentation de 1,5 fois du risque de FS (IC 95% compris entre 1,05 à 2,55). Une revue de littérature retrouve que la supplémentation en calcium chez les coureuses participe à une meilleure densité osseuse et à une incidence réduite des FS (61). **⇒ Le calcium et la vitamine D sont des éléments déjà retrouvés dans l'alimentation. Ils participent à la minéralisation osseuse, qui est un déterminant favorisant la résistance osseuse (51). Ces nutriments sont donc fondamentaux pour assurer la qualité, la solidité du squelette et prévenir les FS (62). Cependant, les effets de la supplémentation alimentaire en calcium ou vitamine D retrouvés dans cette revue sont contradictoires. De nouvelles études sont recommandées pour déterminer si un excès de calcium ou de vitamine D dans le corps est néfaste pour la résistance osseuse.**

De plus, l'application Décathlon Coach conseille des compléments alimentaires de type BCAA (Branched-Chain Amino Acids) pour favoriser la construction musculaire et le processus de récupération. Des études sont nécessaires pour comprendre les effets de ces suppléments sur les adaptations osseuses à l'entraînement.

4.2 Applicabilité en pratique clinique

4.2.1 Prévention primaire auprès de la population

La fracture de stress n'est seulement que la 6ème pathologie en course à pied, ce qui représente 6% des coureurs (17). Elle fait partie d'un continuum de blessures de surcharge sur les os (23). Un facteur extrinsèque et modifiable majeur correspond à l'entraînement. En effet, une variation de surface ou une augmentation brutale en fréquence, en distance ou allure de course participe à l'augmentation de la charge d'entraînement et représente un risque plus fort lié à l'apparition des FS (41). Cela met en évidence les concepts de progressivité et de quantification du stress mécanique pour la prévention des blessures de surcharge comme la FS (63). Les applications de course incluses dans cette revue s'appuient déjà sur ces concepts dans la suggestion des entraînements qu'elles proposent.

Vulgariser les notions de progressivité et de quantification du stress mécanique dans des applications destinées au grand public, sous la forme de conseils par exemple, permettrait aussi de rendre les usagers acteurs de leur santé. Les applications, telles que Décathlon Coach, apparaissent comme des bons moyens pour véhiculer ces principes et donc de prévenir les risques de fracture de stress ou d'autres blessures liées à la course. De plus, malgré les preuves limitées avancées par Johnston et al, l'utilisation d'applications pourrait réduire le

risque de FS (41). Cela soutient que certaines applications sont déjà bien construites pour permettre la prévention des blessures.

Dans cette revue, les résultats identifiés sont obtenus auprès d'un échantillon composé à 97% de coureuses amatrices ou récréatives avec un âge compris entre 18 et 79 ans. Les résultats obtenus sont donc plutôt généralisables auprès de cette population spécifique, qui sera une partie importante de la patientèle rencontrée en soin masso-kinésithérapique. Wright et al ont démontré que le sexe est un facteur de risque de la fracture de stress : les femmes sont plus touchées que les hommes (27). Cela peut justifier que les études menées après 2014 (année de la revue de Wright) se concentrent davantage sur une population féminine.

Le cycle menstruel et les modifications hormonales apparaissent aussi comme facteurs de risque de FS chez les coureuses. Des études spécifiques sur ces notions présentent un lien vérifié avec l'apparition de blessures chez les sportives (64). Sur ce point, les applications de course ont encore un rôle primordial concernant la prévention primaire. Certaines informations comme l'âge, le sexe, la taille et le poids doivent être renseignés lors de la création d'un compte. Il pourrait être pertinent d'y intégrer les antécédents de blessures et, chez les femmes, de pouvoir préciser des informations concernant leur cycle menstruel, dans le but d'adapter le plan d'entraînement.

4.2.2 Applicabilité dans un contexte de soin

La fracture de stress est récurrente en course à pied, elle fait partie des pathologies dites de surutilisation. Lors d'un entraînement, le stress mécanique sur les éléments anatomiques augmente. La blessure intervient alors lorsque celui-ci dépasse les capacités tissulaires intrinsèques de l'individu.

Chaque personne est unique et possède des caractères intrinsèques spécifiques. Ces caractéristiques, que sont l'âge, le sexe, la taille, le poids, les antécédents médicaux, la composition corporelle (longueur, densité ou géométrie osseuse) ou encore le nombre d'années de pratique, ne sont pas modifiables. Ce sont des caractères prédisposant l'individu à la blessure et ici à la fracture de stress.

Par ailleurs, bon nombre de facteurs apparaissent comme modifiables. Ce sont ceux concernant l'entraînement en course à pied (fréquence, distance, allure) et l'alimentation (médicaments, compléments alimentaires). Les cliniciens doivent être en mesure de dépister et de conseiller les sportifs afin de prévenir les blessures (7).

En pratique clinique, il convient alors de repérer les potentiels facteurs de risque chez les coureurs dans le but de limiter les blessures et/ou les récives. Analyser le profil du patient par un entretien oral est une solution envisageable. S'appuyer sur un questionnaire paraît plus adéquat afin de récupérer l'ensemble des informations importantes de manière simplifiée et exhaustive. Il conviendrait alors de répertorier toutes les informations nécessaires à l'identification des facteurs de risque. Cela comprend les informations personnelles (âge, poids, taille, lieu de résidence...), les antécédents médicaux et pathologies associées, les habitudes et objectifs liés à la pratique de la course à pied (fréquence, durée, allure), et les habitudes alimentaires. Pour les femmes, ajouter des questions concernant le cycle menstruel est nécessaire. Un questionnaire est une solution rapide pour obtenir toutes ces informations et peut apparaître facilitant chez certains patients, par rapport à un entretien oral, concernant les sujets plus sensibles (cycle menstruel par exemple).

Cependant, il ne semble pas envisageable de faire passer un questionnaire de dépistage des risques pour chaque pathologie rencontrée en masso-kinésithérapie. C'est pourquoi, comparer et regrouper les facteurs de risque de l'ensemble des pathologies liées à la course permettrait de construire un questionnaire plus général. Le but serait de pouvoir repérer et agir rapidement sur les déterminants fondamentaux d'apparition des blessures en course à pied.

Cette méthode peut aussi être applicable pour les applications mobiles. Un questionnaire plus complet reprenant les catégories ci-dessus permettrait de personnaliser les séances pour chaque utilisateur en fonction de ses caractéristiques. L'algorithme de l'application viendrait sélectionner les séances les plus pertinentes dans une large banque de séances d'entraînement.

Le stress osseux est un facteur important lié à la fracture de stress. Il est influencé par les forces musculaires, les forces de réaction des articulations et les forces de réaction du sol (43). Identifier et quantifier ce stress osseux est impossible en clinique, seules des conditions expérimentales très précises peuvent permettre de l'objectiver. En revanche, plusieurs études scientifiques ont permis d'identifier des paramètres de course à pied susceptibles de modifier ce stress osseux : la cadence, la longueur et la largeur des pas (53,65,66). Malgré le manque de preuve de haute qualité, l'augmentation de la cadence et de la largeur des pas, ainsi que la diminution de leur longueur seraient efficaces pour réduire la charge sur les tissus. Dans un but de prévention pour le facteur de risque du stress osseux, une approche éducative sur les paramètres de course est envisageable en masso-kinésithérapie. Au préalable, une analyse de la cinétique et de la cinématique de course, sur tapis de course par exemple, serait alors

indispensable. Afin de participer à cette prévention, les applications de course peuvent également proposer des conseils sur ces éléments prédisposant à la fracture de stress.

4.3 Qualité des preuves

En s'appuyant sur le système GRADE (*annexe 13*), il est possible de juger la qualité des données scientifiques recueillies par cette revue (34).

La recherche menée sur les différentes bases de données a permis de sélectionner 6 articles répondant à des critères précis. Les études incluses sont seulement de type observationnel (2 études de cohorte, 3 études cas-témoin, 1 étude de cas) et leur niveau de preuve initial est considéré comme faible. Le risque de biais méthodologiques au sein des études a pu être évalué par les échelles Newcastle-Ottawa et JBI Critical Appraisal Checklist for Case Reports. Cinq des six études ont une bonne qualité méthodologique et un risque de biais plutôt faible.

En revanche, l'étude cas-témoin de Johnston et al (2021) comporte un fort risque de biais d'exposition des sujets ce qui réduit la qualité des preuves de cet article. Cependant, celle-ci possède un poids important dans cette revue car elle concentre l'essentiel de la population globale (91%). Couplée avec l'hétérogénéité des résultats au sein des différentes études (les études ne s'intéressent pas toutes aux mêmes facteurs de risque et lorsqu'elles le font, les résultats sont discordants), la qualité des preuves obtenues dans cette revue est réduite. Un niveau de preuve modéré à faible peut être considéré en fonction des facteurs de risque.

4.4 Biais potentiels de la revue

L'analyse de la qualité méthodologique de cette revue repose sur la grille AMSTAR-2 (*annexe 14*) et les résultats de cette évaluation sont présentés dans le tableau ci-après (67) :

Tableau XII : Analyse des biais de la revue par l'outil AMSTAR-2

Items	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Oui	X		X	X			X	X	X	X			X	X		X
Non		X			X	X										
N/A											X	X			X	

La qualité méthodologique de cette revue apparaît comme satisfaisante. Quelques biais sont cependant à prendre en considération. Aucun protocole détaillant la méthode de cette revue n'a été établi avant la réalisation de celle-ci. En outre, un seul individu est à l'origine de cette

revue, de la sélection des études et de l'extraction des données. Cela peut faire l'objet d'un manque d'objectivité de l'auteur.

D'autres biais peuvent être retrouvés notamment au niveau du critère d'inclusion de la population. La seule intégration de coureurs amateurs ou récréatifs limite considérablement le nombre d'études susceptible d'être inclus. En effet, les recherches scientifiques sur des coureurs pratiquant seuls et loin des institutions semblent plus difficiles à mettre en œuvre. C'est ce qui explique également que l'ensemble des études incluses sont transversales et rétrospectives. L'élargissement des critères d'inclusion aux coureurs universitaires et professionnels pratiquant au sein d'institutions permettrait un suivi des athlètes dans le temps ce qui faciliterait les études longitudinales. D'autres facteurs pourraient également être retrouvés, notamment en ce qui concerne d'éventuels risques liés à la biomécanique de la course chez les sujets.

4.5 Conflit d'intérêt

Johnston et al (2020, b) ne précisent aucun lien d'intérêt ou de financement pour leur étude (40). Chacune des autres études de cette revue ne déclare aucun conflit d'intérêt. Popp et al précisent également que les résultats ne dépendent pas de l'approbation de la revue (Bone) dans laquelle l'article est publié (42).

Aucun conflit d'intérêt ou source de financement n'est à déclarer pour la recherche et la réalisation de cette revue de littérature.

5. Conclusion

5.1 Implication pour la pratique clinique

Cette revue de littérature a pour objectif primaire d'actualiser, à l'aide des nouvelles avancées scientifiques, les facteurs de risque de la fracture de stress du membre inférieur chez les coureurs à pied isolés. Dans un second temps, il s'agissait d'évaluer le rôle des applications de programmes d'entraînement en course à pied dans le système de prévention des blessures. Cette initiation à la recherche s'adresse aux cliniciens mais aussi à l'ensemble des personnes pratiquantes de la course à pied et aux développeurs des applications de course à pied dans un but de prévention et de promotion de la santé.

La mise en évidence des facteurs de risque de fracture de stress permet ensuite d'envisager des moyens de prévention applicables chez les coureurs isolés. L'entretien oral ou l'étude des paramètres cinétiques et cinématiques sont des moyens réalisables dans des environnements contrôlés, nécessairement auprès des professionnels de santé ou de la course à pied, pour limiter l'apparition de cette blessure. Un questionnaire peut également être un bon moyen de répertorier les facteurs prédisposant chez les individus. C'est un système simple applicable à la fois en clinique mais aussi dans les applications mobiles pour conseiller et adapter les séances d'entraînement.

5.2 Implication pour la recherche

Cette revue de littérature a identifié plusieurs facteurs de risque dans l'apparition des fractures de stress chez les coureurs à pied isolés, principalement chez des femmes. Le sexe est un critère prédisposant à la FS mais les hommes sont aussi touchés par cette pathologie. De futures études devraient être menées auprès de coureurs isolés masculins pour déterminer si d'autres paramètres sont propres à leur genre.

Des preuves limitées ou contradictoires ont été retrouvées concernant les facteurs extrinsèques et modifiables de FS. Les seuls paramètres temporels (fréquence, distance et allure de course) ne peuvent pas expliquer à eux seuls le stress mécanique exercé sur le système musculo-squelettique. En effet, un volume seuil de 32 km par semaine est peu représentatif par rapport à ce que de nombreux coureurs entreprennent. Néanmoins, les variations en volume et en intensité au fil des semaines d'entraînement sont généralement prises en compte dans l'apparition des FS. C'est pourquoi, les futures études devraient incorporer une mesure plus holistique de l'approche de l'entraînement chez les coureurs.

De plus, la biomécanique liée à la course à pied est un facteur influençant le stress mécanique exercé sur les structures corporelles (68). Aucune étude ne répertorie les éventuels facteurs de risque de FS en lien avec les paramètres cinétiques et cinématiques chez les coureurs isolés. Dans ce sens, de nouvelles études permettraient de mieux comprendre l'effet de la technique de course sur l'apparition des fractures de stress.

6. Ressources bibliographiques

1. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. Actualisation des repères du PNNS - Révisions des repères relatifs à l'activité physique et à la sédentarité [Internet]. [cité 19 sept 2023]. Disponible sur: <https://www.anses.fr/fr/system/files/NUT2012SA0155Ra.pdf>
2. Organisation Mondiale de la Santé. Activité physique [Internet]. [cité 9 oct 2023]. Disponible sur: <https://www.who.int/fr/news-room/campaigns/connecting-the-world-to-combat-coronavirus/healthyathome/healthyathome---physical-activity>
3. Warburton DER, Bredin SSD. Health benefits of physical activity: a systematic review of current systematic reviews. *Curr Opin Cardiol*. sept 2017;32(5):541-56.
4. Oswald F, Campbell J, Williamson C, Richards J, Kelly P. A Scoping Review of the Relationship between Running and Mental Health. *Int J Environ Res Public Health*. 1 nov 2020;17(21):8059.
5. Ministère des sports. Sport ECO: Les stratégies d'organisation des courses « hors stade » : Un enjeu clé pour le développement du running [Internet]. 2019 mai [cité 9 oct 2023]. Report No.: 17. Disponible sur: <https://www.sports.gouv.fr/sites/default/files/2023-01/note-d-analyse-n-17-les-strat-gies-d-organisation-des-courses-hors-stade-un-enjeu-cl-pour-le-d-veloppement-du-running-3292.pdf>
6. 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.
7. MINISTÈRE DES AFFAIRES SOCIALES, DE LA SANTÉ ET DES DROITS DES FEMMES. Arrêté du 2 septembre 2015 relatif au diplôme d'État de masseur-kinésithérapeute (JORF no 0204 du 4 septembre 2015) [Internet]. 2015 sept [cité 11 oct 2023] p. 134. Disponible sur: <http://www.fnek.fr/wp-content/uploads/2019/12/BO.pdf>
8. Richard L. Drake RL, A. Wayne Vogl A, Adam W.M Mitchell. *Gray's Anatomie - Les fondamentaux*. Elsevier Masson. 2018. 648 p.
9. Commission européenne. Glossaire : Os [Internet]. [cité 30 avr 2024]. Disponible sur: https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/opinions_layman/products-resembling-food/fr/glossaire/mno/os.htm
10. Vernejoul M, Marie P. Cellules osseuses et remodelage osseux. *médecine/sciences*. 1993;9(11):1192.
11. Meyrueis P. Biomécanique de l'os. Application au traitement des fractures *Biomechanics of bones and treatment of fractures*.
12. Davies P, Tripathi S. Mechanical stress mechanisms and the cell. An endothelial paradigm. *Circ Res* [Internet]. 1993 [cité 2 mai 2024]; Disponible sur: <https://www.ahajournals.org/doi/epdf/10.1161/01.RES.72.2.239>
13. Boudenot A, Achiou Z, Portier H. Does running strengthen bone? *Appl Physiol Nutr Metab*. déc 2015;40(12):1309-12.
14. 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.

15. Godin A, Gremeaux V, Servant G, Besson C, Fourchet F, Mourot L. Prévention et prise en charge de la blessure liée à la course à pied. *Rev Médicale Suisse*. 2022;18(798):1874-9.
16. Blaise Dubois, Frederic Berg. *La Clinique du coureur : la santé par la course à pied*. MONS. 2022. 544 p.
17. Kakouris N, Yener N, Fong DTP. A systematic review of running-related musculoskeletal injuries in runners. *J Sport Health Sci*. sept 2021;10(5):513-22.
18. Zadpoor AA, Nikooyan AA. The relationship between lower-extremity stress fractures and the ground reaction force: A systematic review. *Clin Biomech*. janv 2011;26(1):23-8.
19. May T, Marappa-Ganeshan R. Stress Fractures. In: StatPearls [Internet] [Internet]. StatPearls Publishing; 2023 [cité 12 oct 2023]. Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK554538/>
20. Milner CE, Foch E, Gonzales JM, Petersen D. Biomechanics associated with tibial stress fracture in runners: A systematic review and meta-analysis. *J Sport Health Sci*. mai 2023;12(3):333-42.
21. Arnold MJ, Moody AL. Common Running Injuries: Evaluation and Management. 2018;97(8).
22. Blaise Dubois. Fracture de stress tibiale. 2018 [cité 11 oct 2023]; Disponible sur: https://az675379.vo.msecnd.net/media/7843009/kmag29_vol8_no1_printemps2018_fracture-stress-tibial.pdf
23. Warden SJ, Davis IS, Fredericson M. Management and Prevention of Bone Stress Injuries in Long-Distance Runners. *J Orthop Sports Phys Ther*. oct 2014;44(10):749-65.
24. Kiel J, Kaiser K. Stress Reaction and Fractures. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023 [cité 19 sept 2023]. Disponible sur: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK507835/>
25. Reiman MP, Iii RCM, Cook CE. Physical examination tests for hip dysfunction and injury.
26. Test de Fulcrum | Dépistage des fractures de stress du fémur [Internet]. Physiotutors. [cité 1 mai 2024]. Disponible sur: <https://www.physiotutors.com/fr/wiki/fulcrum-test/>
27. Wright AA, Taylor JB, Ford KR, Siska L, Smoliga JM. Risk factors associated with lower extremity stress fractures in runners: a systematic review with meta-analysis. *Br J Sports Med*. déc 2015;49(23):1517-23.
28. Tenforde AS, Sayres LC, McCURDY ML, Sainani KL, Fredericson M. Identifying Sex-Specific Risk Factors for Stress Fractures in Adolescent Runners. *Med Sci Sports Exerc*. oct 2013;45(10):1843-51.
29. Hautes Autorité de Santé. Prendre en compte la santé des mineurs/jeunes majeurs dans le cadre des établissements/services de la protection de l'enfance et/ou mettant en oeuvre des mesures éducatives - Présentation Générale [Internet]. 2015 oct [cité 19 oct 2023] p. 12. Disponible sur: https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2018-03/presentation_generale_rbp_p_sante_mineurs_jeunes_majeurs.pdf
30. Delvaux F, Kaux JF, Forthomme B, Croisier JL. La prévention des blessures sportives : modèles théoriques et éléments-clés d'une stratégie efficace. *J Traumatol Sport*. oct 2018;35(3):152-7.
31. Bittencourt NFN, Meeuwisse WH, Mendonça LD, Nettel-Aguirre A, Ocarino JM, Fonseca ST. Complex systems approach for sports injuries: moving from risk factor identification to injury pattern recognition—narrative review and new concept. *Br J Sports Med*. nov 2016;50(21):1309-14.

32. Roe M, Malone S, Blake C, Collins K, Gissane C, Büttner F, et al. A six stage operational framework for individualising injury risk management in sport. *Inj Epidemiol*. 20 sept 2017;4:26.
33. 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*. 2015;45(8):1143-61.
34. Haute Autorité de Santé. Niveau de preuve et gradation des recommandations de bonne pratique [Internet]. 2023 avr [cité 23 oct 2023] p. 92. Disponible sur: https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2013-06/etat_des_lieux_niveau_preuve_gradation.pdf
35. Pallot A, Rostagno S. Newcastle-Ottawa Scale : traduction française de l'échelle de qualité méthodologique pour les études de cohorte. *Kinésithérapie Rev*. juill 2021;21(235):3-4.
36. JBI. JBI. [cité 28 mars 2024]. JBI Critical Appraisal Tools. Disponible sur: <https://jbi.global/critical-appraisal-tools>
37. Wells G, Shea B, O'Connell D, Peterson J, Welch V, Losos M, et al. Ottawa Hospital Research Institute [Internet]. [cité 26 mars 2024]. Disponible sur: https://www.ohri.ca/programs/clinical_epidemiology/oxford.asp
38. Lavenu A. Comment interpréter un odds ratio. *Horiz Hémato* [Internet]. sept 2015 [cité 2 mai 2024];5(3). Disponible sur: <https://horizonshemato.com/wp-content/uploads/2018/09/%E2%96%A0%E2%96%A0Comment-interpr%C3%A9ter-un-odds-ratio-.pdf>
39. Johnston TE, Close J, Jamora P, Wainwright SF. Perceptions of risk for stress fractures: A qualitative study of female runners with and without stress fracture histories. *Phys Ther Sport*. mai 2020;43:143-50.
40. Johnston TE, Dempsey C, Gilman F, Tomlinson R, Jacketti AK, Close J. Physiological Factors of Female Runners With and Without Stress Fracture Histories: A Pilot Study. *Sports Health Multidiscip Approach*. juill 2020;12(4):334-40.
41. Johnston TE, Jakavick AE, Mancuso CA, McGee KC, Wei L, Wright ML, et al. Risk Factors for Stress Fractures in Female Runners: Results of a Survey. *Int J Sports Phys Ther* [Internet]. 2 févr 2021 [cité 5 févr 2024];16(1). Disponible sur: <https://ijspt.scholasticahq.com/article/18806-risk-factors-for-stress-fractures-in-female-runners-results-of-a-survey>
42. Popp KL, McDermott W, Hughes JM, Baxter SA, Stovitz SD, Petit MA. Bone strength estimates relative to vertical ground reaction force discriminates women runners with stress fracture history. *Bone*. janv 2017;94:22-8.
43. Meardon SA, Willson JD, Gries SR, Kernozek TW, Derrick TR. Bone stress in runners with tibial stress fracture. *Clin Biomech*. nov 2015;30(9):895-902.
44. Burger JW, de Villiers R, Derman W. If the shoe fits... should you just wear it? A complete calcaneal stress fracture in a female recreational runner. *South Afr J Sports Med*. 32(1):v32i1a8522.
45. Haute Autorité de santé. Table d'indice de masse corporelle [Internet]. 2009 [cité 8 avr 2024]. Disponible sur: https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2011-10/annexe_1_table_dindice_de_masse_corporelle.pdf
46. Lakens D. Calculating and reporting effect sizes to facilitate cumulative science: a practical primer for t-tests and ANOVAs. *Front Psychol*. 26 nov 2013;4:863.
47. De Laet C, Kanis JA, Odén A, Johanson H, Johnell O, Delmas P, et al. Body mass index as a predictor of fracture risk: A meta-analysis. *Osteoporos Int*. nov 2005;16(11):1330-8.

48. Warne JP, Gruber AH, Cheung R, Bonacci J. Training and technique choices predict self-reported running injuries: An international study. *Phys Ther Sport*. mars 2021;48:83-90.
49. Agence de santé publique du Canada. Guide sur la santé post-partum [Internet]. 2023 [cité 27 avr 2024]. Disponible sur: <https://www.canada.ca/content/dam/phac-aspc/documents/services/child-infant-health/postpartum-health-guide/guide-sante-post-partum.pdf>
50. Édition professionnelle du Manuel MSD [Internet]. [cité 1 mai 2024]. Aménorrhée - Gynécologie et obstétrique. Disponible sur: <https://www.msdmanuals.com/fr/professional/gynécologie-et-obstétrique/troubles-mensuels/aménorrhée>
51. Consensus development conference: Diagnosis, prophylaxis, and treatment of osteoporosis. *Am J Med*. juin 1993;94(6):646-50.
52. Agence Nationale d'Accréditation et d'Évaluation en Santé (ANAES). Recommandations pour le suivi médical des patients asthmatiques adultes et adolescents. *Acta Endosc*. sept 2004;28(2):151-5.
53. Meardon SA, Derrick TR. Effect of step width manipulation on tibial stress during running. *J Biomech*. août 2014;47(11):2738-44.
54. Van Gent RN, Siem D, Van Middelkoop M, Van Os AG, Bierma-Zeinstra SMA, Koes BW, et al. Incidence and determinants of lower extremity running injuries in long distance runners: a systematic review * COMMENTARY. *Br J Sports Med*. 8 mars 2007;41(8):469-80.
55. Nielsen RO, Buist I, Sørensen H, Lind M, Rasmussen S. TRAINING ERRORS AND RUNNING RELATED INJURIES: A SYSTEMATIC REVIEW. *Int J Sports Phys Ther*. févr 2012;7(1):58-75.
56. Relph N, Greaves H, Armstrong R, Prior TD, Spencer S, Griffiths IB, et al. Running shoes for preventing lower limb running injuries in adults. *Cochrane Bone, Joint and Muscle Trauma Group*, éditeur. *Cochrane Database Syst Rev* [Internet]. 22 août 2022 [cité 28 avr 2024];2022(8). Disponible sur: <http://doi.wiley.com/10.1002/14651858.CD013368.pub2>
57. Warne JP, Gruber AH. Transitioning to Minimal Footwear: a Systematic Review of Methods and Future Clinical Recommendations. *Sports Med - Open*. 15 sept 2017;3:33.
58. Sun X, Lam WK, 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*. 24 févr 2020;19(1):20-37.
59. Rosenbloom CJ, Morley FL, Ahmed I, Cox AR. Oral non-steroidal anti-inflammatory drug use in recreational runners participating in Parkrun UK: Prevalence of use and awareness of risk. *Int J Pharm Pract*. 6 nov 2020;28(6):561-8.
60. Mehallo CJ, Drezner JA. Practical Management: Nonsteroidal Antiinflammatory Drug (NSAID) Use in Athletic Injuries. *Clin J Sport Med*. 2006;16(2).
61. Tenforde AS, Sayres LC, Sainani KL, Fredericson M. Evaluating the Relationship of Calcium and Vitamin D in the Prevention of Stress Fracture Injuries in the Young Athlete: A Review of the Literature. *PM&R*. oct 2010;2(10):945-9.
62. Coxam V, Davicco MJ, Wittrant Y. Vitamine D et santé osseuse. *OCL*. mai 2014;21(3):D303.
63. Kalkhoven JT, Watsford ML, Coutts AJ, Edwards WB, Impellizzeri FM. Training Load and Injury: Causal Pathways and Future Directions. *Sports Med*. juin 2021;51(6):1137-50.
64. Martínez-Fortuny N, Alonso-Calvete A, Da Cuña-Carrera I, Abalo-Núñez R. Menstrual Cycle and Sport Injuries: A Systematic Review. *Int J Environ Res Public Health*. 13

- févr 2023;20(4):3264.
65. Schubert AG, Kempf J, Heiderscheid BC. Influence of Stride Frequency and Length on Running Mechanics. *Sports Health*. mai 2014;6(3):210-7.
 66. Anderson LM, Martin JF, Barton CJ, Bonanno DR. What is the Effect of Changing Running Step Rate on Injury, Performance and Biomechanics? A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Med - Open*. 4 sept 2022;8:112.
 67. Pallot A, Rostagno S. AMSTAR-2 : traduction française de l'échelle de qualité méthodologique pour les revues de littérature systématiques. *Kinésithérapie Rev*. juill 2021;21(235):13-4.
 68. Willwacher S, Kurz M, Robbin J, Thelen M, Hamill J, Kelly L, et al. Running-Related Biomechanical Risk Factors for Overuse Injuries in Distance Runners: A Systematic Review Considering Injury Specificity and the Potentials for Future Research. *Sports Med Auckl Nz*. 2022;52(8):1863-77.

7. Annexes

Annexe 1 : Le fulcrum test



Pour effectuer ce test, le patient doit être assis et penché en arrière, en appui sur ses mains.

Le MK se place à genoux du côté à tester. Son avant-bras se place d'abord sous la partie distale de la cuisse. Son autre main est placée sur le dos de la cuisse et appuie doucement vers le bas.

Si les symptômes ne sont pas reproduits, il faut répéter la procédure en déplaçant l'avant-bras plus proximale sous la cuisse.

Ce test a pour objectif de reproduire le mécanisme de fracture de stress en utilisant l'avant-bras comme point d'appui. Il est considéré positif lorsqu'une douleur aiguë est reproduite et qu'une appréhension apparaît chez le patient.

Valeur clinique : sensibilité entre 88% et 93% ; spécificité entre 13 et 75%.

Annexe 2 : Grade de recommandation et niveau de preuve scientifique selon le type d'étude d'après la HAS (34)

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

Annexe 3 : Tableau des études exclues et des raisons de l'exclusion

Études exclues	Motif de l'exclusion		
	Population	Pathologie	Outcomes
Tenforde AS, Kraus E, Fredericson M. Bone Stress Injuries in Runners. Phys Med Rehabil Clin N Am. 2016 Feb;27(1):139-49.	X		
Griffin KL, Knight KB, Bass MA, Valliant MW. Predisposing Risk Factors for Stress Fractures in Collegiate Cross-Country Runners. J Strength Cond Res. 2021 Jan 1;35(1):227-232.	X		
DeJong Lempke AF, Whitney KE, Collins SE, dHemecourt PA, Meehan WP. Intrinsic and extrinsic factors contributing to running-related lower limb injuries among adolescent runners. J Sports Sci. 2022 Nov;40(22):2468-2474.		X	
Toraishi M, Uenishi K, Iwamoto J, Otani T. Vitamin A intake is related to stress fracture occurrence in male collegiate long-distance runners. J Sports Med Phys Fitness. 2021 Nov;61(11):1509-1514.	X		
Popp KL, Frye AC, Stovitz SD, Hughes JM. Bone geometry and lower extremity bone stress injuries in male runners. J Sci Med Sport. 2020 Feb;23(2):145-150.		X	
Gehman S, Ackerman KE, Caksa S, Rudolph SE, Hughes JM, Garrahan M, Tenforde AS, Boussein ML, Popp KL. Restrictive Eating and Prior Low-Energy Fractures Are Associated With History of Multiple Bone Stress Injuries. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2022 May 6;32(5):325-333.			X
Weinrich L, Dahne M, Lindner T, Stöckle U, Tsitsilonis S. Femoral Neck Stress Fracture of a Male, Healthy Marathon Runner - Case Report and Literature Review. Z Orthop Unfall. 2022 Oct;160(5):564-571.			X
Martin JA, Stiffler-Joachim MR, Wille CM, Heiderscheid BC. A hierarchical clustering approach for examining potential risk factors for bone stress injury in runners. J Biomech. 2022 Aug;141:111136.	X		
Wilzman AR, Tenforde AS, Troy KL, Hunt K, Fogel N, Roche MD, Kraus E, Trikha R, Delp S, Fredericson M. Medical and Biomechanical Risk Factors for Incident Bone Stress Injury in Collegiate Runners: Can Plantar Pressure Predict Injury? Orthop J Sports Med. 2022 Jun 15;10(6):23259671221104793.	X		
Carbuhn AF, Yu D, Magee LM, McCulloch PC, Lambert BS. Anthropometric Factors Associated With Bone Stress Injuries in Collegiate Distance Runners: New Risk Metrics and Screening Tools? Orthop J Sports Med. 2022 Feb 10;10(2):23259671211070308.	X		
Duckham RL, Brooke-Wavell K, Summers GD, Cameron N, Peirce N. Stress fracture injury in female endurance athletes in the United Kingdom: A 12-month prospective study. Scand J Med Sci Sports. 2015 Dec;25(6):854-9.			X
Joachim MR, Kliethermes SA, Heiderscheid BC. Preseason Vertical Center of Mass Displacement During Running and Bone Mineral Density Z-Score Are Risk Factors for Bone Stress Injury Risk in Collegiate Cross-country Runners. J Orthop Sports Phys Ther. 2023 Dec;53(12):1-8.	X		
Kliethermes SA, Stiffler-Joachim MR, Wille CM, Sanfilippo JL, Zavala P, Heiderscheid BC. Lower step rate is associated with a higher risk of bone stress injury: a prospective study of collegiate cross country runners. Br J Sports Med. 2021 Aug;55(15):851-856.	X		
Tenforde AS, Katz NB, Sainani KL, Carlson JL, Golden NH, Fredericson M. Female Athlete Triad Risk Factors Are More Strongly Associated With Trabecular-Rich Versus Cortical-Rich Bone Stress Injuries in Collegiate Athletes. Orthop J Sports Med. 2022 Sep 21;10(9):23259671221123588.	X		
Martin JA, Heiderscheid BC. A hierarchical clustering approach for examining the relationship between pelvis-proximal femur geometry and bone stress injury in runners. J Biomech. 2023 Sep 2;160:111782.	X		
Kraus E, Tenforde AS, Nattiv A, Sainani KL, Kussman A, Deakins-Roche M, Singh S, Kim BY, Barrack MT, Fredericson M. Bone stress injuries in male distance runners: higher modified Female Athlete Triad Cumulative Risk Assessment scores predict increased rates of injury. Br J Sports Med. 2019 Feb;53(4):237-242.	X		
Roche M, Nattiv A, Sainani K, Barrack M, Kraus E, Tenforde A, Kussman A, Olson EM, Kim B, Fahy K, Miller E, Diamond E, Meraz S, Singh S, Nattiv A, Fredericson M. Higher Triad Risk Scores Are Associated With Increased Risk for Trabecular-Rich Bone Stress Injuries in Female Runners. Clin J Sport Med. 2023 Nov 1;33(6):631-637.	X		
Tenforde AS, Carlson JL, Sainani KL, Chang AO, Kim JH, Diaz R, Golden NH, Fredericson M. Lower Trabecular Bone Score and Spine Bone Mineral Density Are Associated With Bone Stress Injuries and Triad Risk Factors in Collegiate Athletes. PM R. 2021 Sep;13(9):945-953.	X		
Chen TL, An WW, Chan ZYS, Au IPH, Zhang ZH, Cheung RTH. Immediate effects of modified landing pattern on a probabilistic tibial stress fracture model in runners. Clin Biomech (Bristol, Avon). 2016 Mar;33:49-54.	X		
Shankar DS, Gillinov LA, Buldo-Licciardi M, Vargas L, Cardone DA. Clinical Presentation and Outcomes of Sacral Stress Fractures in Athletes: A Case Series of 13 Patients. Sports Health. 2023 Aug 4;19417381231190580.			X
Johnson CD, Tenforde AS, Outerleys J, Reilly J, Davis IS. Impact-Related Ground Reaction Forces Are More Strongly Associated With Some Running Injuries Than Others. Am J Sports Med. 2020 Oct;48(12):3072-3080.		X	
Larsen P, Elsoe R, Rathleff MS. A case report of a completely displaced stress fracture of the femoral shaft in a middle-aged male athlete - A precursor of things to come? Phys Ther Sport. 2016 May;19:23-7.	X		

Annexe 4 : Échelle d'évaluation méthodologique Newcastle- Ottawa (35)**NEWCASTLE - OTTAWA QUALITY ASSESSMENT SCALE
CASE CONTROL STUDIES**

Note: A study can be awarded a maximum of one star for each numbered item within the Selection and Exposure categories. A maximum of two stars can be given for Comparability.

Selection

- 1) Is the case definition adequate?
 - a) yes, with independent validation *
 - b) yes, eg record linkage or based on self reports
 - c) no description
- 2) Representativeness of the cases
 - a) consecutive or obviously representative series of cases *
 - b) potential for selection biases or not stated
- 3) Selection of Controls
 - a) community controls *
 - b) hospital controls
 - c) no description
- 4) Definition of Controls
 - a) no history of disease (endpoint) *
 - b) no description of source

Comparability

- 1) Comparability of cases and controls on the basis of the design or analysis
 - a) study controls for _____ (Select the most important factor.) *
 - b) study controls for any additional factor * (This criteria could be modified to indicate specific control for a second important factor.)

Exposure

- 1) Ascertainment of exposure
 - a) secure record (eg surgical records) *
 - b) structured interview where blind to case/control status *
 - c) interview not blinded to case/control status
 - d) written self report or medical record only
 - e) no description
- 2) Same method of ascertainment for cases and controls
 - a) yes *
 - b) no
- 3) Non-Response rate
 - a) same rate for both groups *
 - b) non respondents described
 - c) rate different and no designation

**NEWCASTLE - OTTAWA QUALITY ASSESSMENT SCALE
COHORT STUDIES**

Note: A study can be awarded a maximum of one star for each numbered item within the Selection and Outcome categories. A maximum of two stars can be given for Comparability

Selection

- 1) Representativeness of the exposed cohort
 - a) truly representative of the average _____ (describe) in the community ★
 - b) somewhat representative of the average _____ in the community ★
 - c) selected group of users eg nurses, volunteers
 - d) no description of the derivation of the cohort
- 2) Selection of the non exposed cohort
 - a) drawn from the same community as the exposed cohort ★
 - b) drawn from a different source
 - c) no description of the derivation of the non exposed cohort
- 3) Ascertainment of exposure
 - a) secure record (eg surgical records) ★
 - b) structured interview ★
 - c) written self report
 - d) no description
- 4) Demonstration that outcome of interest was not present at start of study
 - a) yes ★
 - b) no

Comparability

- 1) Comparability of cohorts on the basis of the design or analysis
 - a) study controls for _____ (select the most important factor) ★
 - b) study controls for any additional factor ★ (This criteria could be modified to indicate specific control for a second important factor.)

Outcome

- 1) Assessment of outcome
 - a) independent blind assessment ★
 - b) record linkage ★
 - c) self report
 - d) no description
- 2) Was follow-up long enough for outcomes to occur
 - a) yes (select an adequate follow up period for outcome of interest) ★
 - b) no
- 3) Adequacy of follow up of cohorts
 - a) complete follow up - all subjects accounted for ★
 - b) subjects lost to follow up unlikely to introduce bias - small number lost - > ____ % (select an adequate %) follow up, or description provided of those lost) ★
 - c) follow up rate < ____ % (select an adequate %) and no description of those lost
 - d) no statement

Annexe 5 : Échelle d'évaluation méthodologique JBI Critical Appraisal Checklist For Case Report (36)

JBI CRITICAL APPRAISAL CHECKLIST FOR CASE REPORTS

Reviewer _____ Date _____

Author _____ Year _____ Record Number _____

	Yes	No	Unclear	Not applicable
1. Were patient's demographic characteristics clearly described?	☐	☐	☐	☐
2. Was the patient's history clearly described and presented as a timeline?	☐	☐	☐	☐
3. Was the current clinical condition of the patient on presentation clearly described?	☐	☐	☐	☐
4. Were diagnostic tests or assessment methods and the results clearly described?	☐	☐	☐	☐
5. Was the intervention(s) or treatment procedure(s) clearly described?	☐	☐	☐	☐
6. Was the post-intervention clinical condition clearly described?	☐	☐	☐	☐
7. Were adverse events (harms) or unanticipated events identified and described?	☐	☐	☐	☐
8. Does the case report provide takeaway lessons?	☐	☐	☐	☐

Overall appraisal: Include ☐ Exclude ☐ Seek further info ☐

Comments (Including reason for exclusion)

Annexe 6 : Tableau de synthèse des résultats de l'étude de Johnston et al (2020, a) (39)

Facteurs étudiés	Groupe FS	Groupe NFS
Blessures antérieures ou récurrentes	Les deux groupes ont identifié des blessures liées à la course à pied (périostite tibiale, déchirures musculaires, fasciite plantaire, entorse de cheville, tendinopathie,...). Dans les deux groupes, les participants ont demandé une opinion ou expertise à des consultants (médecins, nutritionnistes, kinésithérapeutes, podologues, chiropracteurs, entraîneurs sportifs)	
Pattern d'activité et régime d'entraînement	Approche de l'entraînement souvent basée sur une augmentation de distance et de vitesse aléatoire. Les changements dans les entraînements sont fréquents avec rarement une notion de progressivité. Identification du changement dans le schéma de course en fonction de différents paramètres : la surface de course, les conditions météo, les horaires d'entraînement ou d'autres facteurs de vie. ½ des sujets du groupe identifient de la fatigue liée au surentraînement.	Gradation de l'entraînement avec une augmentation progressive de la vitesse et de la distance : approche conservatrice de l'entraînement. Aucun sujet du groupe n'identifie de fatigue liée au surentraînement.
Nutrition (alimentation et compléments alimentaires)	Connaissance mais pas d'application systématique des principes de bonne alimentation (aliments aléatoires, sans prise en compte des valeurs nutritionnelles). ¾ des sujets identifient une carence nutritionnelle et un manque d'apport calorique pouvant être responsable de fracture (calcium, fer, protéines, vitamine D, fruits, légumes, produits laitiers). Utilisation de suppléments nutritionnels.	Connaissance et respect des principes de bonne alimentation (consommation d'aliments riches en calcium : légumes verts, produits laitiers). Utilisation de suppléments nutritionnels.
Prévention et intervention	Connaissances sur l'entraînement croisé mais n'y porte pas d'attention particulière. ½ sujets ont interrompu totalement leur entraînement suite à une petite blessure (avec ou sans conseil du médecin).	Engagement continu dans des activités d'entraînement croisé (haltérophilie, natation, yoga, pilate). Aucun sujet n'a observé de repos suite à une petite blessure. 1 sujet s'impose des périodes de repos dans ses périodes d'entraînements.
Etat d'esprit	Changement d'approche de l'entraînement imposé par une blessure trop grave. Tendance à poursuivre l'entraînement malgré la douleur. Pratique en groupe : effet positif pour le non-jugement, le partage, l'entraide et la motivation. Effet négatif pour la comparaison aux autres et surestimation de ses capacités.	½ des sujets décrivent la douleur comme un signal d'alarme nécessitant de modifier instantanément l'approche de l'entraînement.

Annexe 7 : Tableau des résultats liés aux données individuelles et démographiques

Facteurs mesurés	Auteur / Années	Significativité statistique			Taille d'effet (d)
		groupe FS	groupe NFS	p-value	
Âge	Johnston 2021	38,9 (11,8)	40,6 (11,3)	0,01	
	Popp 2017	27,0 (24,3-29,7)	30,9 (28,2-33,5)	0,05	
Poids	Johnston 2021	135,3 (23,9) lbs	142,9 (24,5) lbs	<0,01	
	Popp 2017	54,8 (52,1-57,4) kg	60,3 (57,6-62,9) kg	0,004	
Taille	Johnston 2021	64,5 (3,1) in	64,9 (3,1) in	0,02	
	Popp 2017	164,8 (162,1-161,7) cm	169,8 (167,1-172,5) cm	0,04	
Indice de masse corporel (IMC)	Johnston 2020 (b)	22,4 (2,8)	23,2 (2,9)	0,36	0,28
	Johnston 2021	22,9 (4,4)	23,9 (4,0)	<0,01	
	Popp 2017	20,2 (19,3;21,1)	20,9 (20,0;21,8)	0,30	
Race	Johnston 2021	Noire : n=4 (1%) / Asiatique : n=11 (2,6%) / Blanche : n=375 (89,5%) / Hispanique : n=18 (4,3%) / Mixte : n=8 (1,9%) / Autre : n=3 (0,7%)	Noire : n=22 (1,8%) / Asiatique : n=41 (3,3%) / Blanche : n=1078 (87,8%) / Hispanique : n=53 (4,3%) / Mixte : n=26 (2,1%) / Autre : n=8 (0,7%)	0,87	
Education	Johnston 2021	Diplôme d'étude secondaire, équivalent ou rien : 33 (7,9%) / Diplômes associés (master, doctorat) : n=196 (46,9%)	Diplôme d'étude secondaire, équivalent ou rien : 117 (9,5%) / Diplômes associés (master, doctorat) : n=540 (44%)	0,52	
Lieu de résidence	Johnston 2021	Urbain : n=107 (25,5%) / Suburbain : n= 249 (59,4%) / Rural : n=57 (13,6%) / Autre : n=2 (0,5%)	Urbain : n=351 (28,6%) / Suburbain : n=674 (54,9%) / Rural : n=181 (14,7%) / Autre : n=9 (0,7%)	0,46	

Annexe 8 : Tableau des résultats liés au statut menstruel

Facteurs mesurés	Auteur/Année	Significativité statistique		
		Groupe FS	Groupe NFS	p-value
Âge des premières menstruations (années)	Johnston 2020 (b)	9-10 : n=1 / 11-12 : n=9 / 13-14 : n=6 / 15-16 : n=4	9-10 : n=2 / 11-12 : n=8 / 13-14 : n=8 / 15-16 : n=2	>0,999
	Johnston 2021	<12 : n=147 (35,2%) ; 13-15 : n=234 (55,8%) ; >16 : n=37 (8,9%)	<12 : n=535 (43,6%) ; 13-15 : n=639 (52,0%) ; >16 : n=50 (4,1%)	<0,01
	Popp 2017	13,5 (12,6 ; 14,5)	13,5 (12,5 ; 14,4)	1,00
Durée du cycle menstruel (jours)	Johnston 2020 (b)	<29 : n=11 ; 30-35 : n=2 ; >36 : n=1 ; Irrégulier : n=6 ; Absente : n=0	<29 : n=13 ; 30-35 : n=1 ; >36 : n=1 ; Irrégulier : n=4 ; Absente : n=1	>0,999
	Johnston 2021	Régulier (tous les 28 jours) : n=176 (42,0%) / Régulière mais parfois irrégulière si augmentation charges d'entraînement : n=45 (10,7%) / Irrégulier : n=72 (17,2%) / Pas de menstruation : n=67 (16,0%) AR : n=59 (14,1%)	Régulier (tous les 28 jours) : n=555 (45,2%) / Régulière mais parfois irrégulière si augmentation charges d'entraînement : n=125 (10,2%) / Irrégulier : 184 (15,0%) / Pas de menstruation : n= 200 (16,3%) AR : n=164 (13,4%)	0,75
Absence règles ≥6 mois autres que la grossesse	Johnston 2021	n=170 (40,6%)	n=339 (27,5%)	<0,01
Phase actuelle du cycle menstruel	Johnston 2021	Pré-ménopause : n=224 (53,5%) / Post-ménopause : n=67 (16,0%) / Péri-ménopause : n=72 (17,2%) / Ne sais pas : n=56 (13,4%)	Pré-ménopause : n=686 (55,9%) / Post-ménopause : n=200 (16,3%) / Péri-ménopause : n=182 (14,8%) / Ne sais pas : n=156 (12,7%)	0,67
Durée de la période de règles	Johnston 2020 (b)	N/A : n=0 ; 1-2 : n=1 ; 3-4 : n=9 ; 5-6 : n=8 ; 7-8 : n=0 ; >8 : n=0 ; AR : n=2	N/A : n=1 ; 1-2 : n=2 ; 3-4 : n=9 ; 5-6 : n=4 ; 7-8 : n=3 ; >8 : n=0 ; AR : n=1	>0,57
Nombre de cycle par an	Popp 2017	<4 : n=1 ; 4-10 : n=2 ; >10 : n=12	<4 : n=2 ; 4-10 : n=4 ; >10 : n=9	0,53
Contraception	Johnston 2021	Hormonal : n=158 (37,8%) / Non-hormonal : n=38 (9,1%) / Aucune : n=222 (53,1%)	Hormonal : n=445 (36,5%) / Non-hormonal : n=128 (10,5%) / Aucune : n=648 (53,1%)	0,69
	Popp 2017	12/3 (oui/non)	12/3 (oui/non)	1,00

N/A : non applicable ; AR : absence de réponse

Annexe 9 : Tableau des résultats liés à l'entraînement

Facteurs mesurés	Auteur/Année	Significativité statistique		
		groupe FS	groupe NFS	p-value
Fréquence de CàP par semaine (nombre de jours)	Johnston 2020 (b)	2 : n=0 / 3 : n=11 / 4 : n=4 / 5 : n=2 / 6 : n=2 / 7 : n=1	2 : n=1 / 3 : n=7 / 4 : n=4 / 5 : n=5 / 6 : n=1 / 7 : n=2	0,96
	Johnston 2021	1-2 : n=33 (7,9%) / 3-4 : n=200 (47,7%) / 5-6 : n=158 (37,7%) / chaque jour : n=28 (6,7%)	1-2 : n=110 (8,7%) / 3-4 : n=740 (60,3%) / 5-6 : n=337 (27,4%) / chaque jour : n=41 (3,3%)	<0,01
Distance de course par semaine pendant la saison (miles/sem)	Johnston 2020 (b)	0-10 : n=1 / 11-20 : n=6 / 21-30 : n=6 / 31-40 : n=4 / 41-50 : n=1 / >50 : n=2	0-10 : n=1 / 11-20 : n=9 / 21-30 : n=6 / 31-40 : n=2 / 41-50 : n=1 / >50 : n=1	0,88
	Johnston 2021	0-10 : n=24 (5,7%) / 11-20 : n=82 (19,6%) / 21-30 : n=118 (28,2%) / 31-40 : n=87 (21,1%) / 41+ : n=101 (20,8%)	0-10 : n=99 (8,1%) / 11-20 : n=387 (31,5%) / 21-30 : n=371 (30,2%) / 31-40 : n=208 (16,9%) / 41+ : n=140 (11,4%)	<0,01
	Popp 2017	25,6 (18,3-32,9)	28,1 (20,8-35,4)	0,63
Distance de course hors saison (miles/sem)	Johnston 2021	0-10 : n=85 (20,6%) / 11-20 : n=135 (32,8%) / 21-30 : n=116 (28,2%) / 31-40 : n=39 (9,5%) / 41+ : n=37 (9,0%)	0-10 : n=367 (30,5%) / 11-20 : n=509 (42,3%) / 21-30 : n=222 (18,5%) / 31-40 : n=61 (5,1%) / 41+ : n=44 (3,7%)	<0,01
Allure moyenne de course	Johnston 2020 (b)	<6 : n=1 / 6-7 : n=0 / 7-8 : n=6 / 8-9 : n=2 / 9-10 : n=7 / 10-11 : n=4 / >11 : n=0 (miles/sem)	<6 : n=0 / 6-7 : n=1 / 7-8 : n=2 / 8-9 : n=6 / 9-10 : n=4 / 10-11 : n=5 / >11 : n=2 (miles/sem)	0,98
	Johnston 2021	<5:00 n=2 (0,5%) / 5:00-5:59 n=1 (0,2%) / 6:00-6:59 n=4 (1,0%) / 7:00-7:59 n=60 (14,3%) / 8:00-8:59 n=102 (24,3%) / 9:00-9:59 n=116 (27,7%) / 10:00-10:59 n=76 (18,1%) / 11:00-11:59 n=28 (6,7%) / 12:00+ n=30 (7,2%)	<5:00 n=2 (0,2%) / 5:00-5:59 n=5 (0,4%) / 6:00-6:59 n=24 (2,0%) / 7:00-7:59 n=50 (4,1%) / 8:00-8:59 n=216 (17,6%) / 9:00-9:59 n=318 (25,9%) / 10:00-10:59 n=303 (24,7%) / 11:00-11:59 n=172 (14,0%) / 12:00+ n=138 (11,2%)	<0,01
Années de pratique de la CàP	Johnston 2021	<1 : n=5 (1,2%) / 1-3 : n=42 (10,0%) / 4-6 : n=94 (22,4%) / 7-9 : n=79 (18,9%) / 10-20 : n=116 (27,7%) / 20+ : n=83 (19,8%)	<1 : n=34 (2,8%) / 1-3 : n=258 (21,0%) / 4-6 : n=304 (24,7%) / 7-9 : n=178 (14,5%) / 10-20 : n=291 (23,7%) / 20+ : n= 163 (13,3%)	<0,01
	Popp 2017	14,7 (11,4-18,0)	14,9 (11,6-18,2)	0,89
Age de début de la CàP	Johnston 2020 (b)	<10 : n=3 / 11-18 : n=6 / 19-25 : n=2 / 26-33 : n=5 / 34-40 : n=3 / >40 : n=1	<10 : n=1 / 11-18 : n=3 / 19-25 : n=9 / 26-33 : n=7 / 34-40 : n=0 / >40 : n=0	0,96
Progressivité (augmentation miles/sem)	Johnston 2021	1-10% : n=309 (73,8%) / 11-20% : n=101 (24,1%) 21-30% : n=6 (1,4%) / 31%+ : n=3 (0,7%)	1-10% : n=894 (72,8%) / 11-20% : n=290 (23,6%) 21-30% : n=32 (2,6%) / 31%+ : n=7 (0,6%)	0,54

Types de chaussures	Johnston 2021	Minimaliste : n=19 (4,5%) Neutre : n=219 (52,3%) Stabilisante : n=150 (35,8%) Autre : n=11 (2,6%) Pas sûre : n=20 (4,8%)	Minimaliste : n=68 (5,5%) Neutre : n=610 (49,7%) Stabilisante : n=429 (34,9%) Autre : n=38 (3,1%) Pas sûre : n=81 (6,6%)	0,56
Système de planification de l'entraînement en CàP	Johnston 2021	Seul : n=160 (38,2%) Livre ou application : n=106 (25,5%) Coach : n=107 (25,5%) Entraîneur personnel : n=7 (1,7%) Club de CàP : n=78 (18,6%) Autre : n=13 (3,1%)	Seul : n=450 (36,6%) Livre ou application : n=376 (30,6%) Coach : n=188 (15,3%) Entraîneur personnel : n=27 (2,2%) Club de CàP : n=228 (18,6%) Autre : n=48 (3,9%)	0,57 0,04 <0,01 0,51 0,98 0,45
Autre type d'entraînement	Johnston 2021	Cyclisme : n=228 (54,4%)	Cyclisme : n=516 (42,0%)	<0,01
		Natation : n=124 (29,6)	Natation : n=290 (23,6%)	0,01
		Autres (dance, randonnée, sports d'équipe, entraînement de la force, yoga/pilates, aucune)	Autres (dance, randonnée, sports d'équipe, entraînement de la force, yoga/pilates, aucune)	>0,05 (0,07-0,95)

Annexe 10 : Tableau des résultats liés aux antécédents médicaux et à la nutrition

Facteurs mesurés	Auteurs/année	Significativité statistique		
		groupe FS	groupe NFS	p-value
Autres pathologies liées à la course	Johnston 2021	Syndrome de la bandelette ilio-tibiale : 26% Tension musculaire : 33,7% Syndrome fémoro-patellaire : 19,3% Fasciite plantaire : 28,6% Périostite : 34,1% Blessure d'un tendon : 28,6% Aucune : 21,2%	Syndrome de la bandelette ilio-tibiale : 19,5% Tension musculaire : 22,0% Syndrome fémoro-patellaire : 12,9% Fasciite plantaire : 20,8% Périostite : 14,3% Blessure d'un tendon : 16,4% Aucune : 37,7%	<0,01 <0,01 <0,01 <0,01 <0,01 <0,01 <0,01
Problèmes médicaux associés	Johnston 2021	Asthme : n= 83 (19,8%) Ostéopénie : n=55 (13,1%) Ostéoporose : n=20 (4,8%) Aucun : n=222 (53,0%) Autres (diabète, maladie neurologique, gastro intestinale, rhumatismale, foie, rein, thyroïde)	Asthme : n= 181 (14,7%) Ostéopénie : n=46 (3,7%) Ostéoporose : n=17 (1,4%) Aucun : 778 (63,4%) Autres (diabète, maladie neurologique, gastro intestinale, rhumatismale, foie, rein, thyroïde)	0,01 <0,01 <0,01 <0,01 >0,05 (0,13- 1,00)
Prise régulière de médicaments (≥3fois/semaine)	Johnston 2021	AINS : n= 61 (14,6%) Anti-allergique : n=8 (1,9%) Autres (dont aucun)	AINS : n=118 (9,6%) Anti-allergique : n=49 (4,0%) Autres (dont aucun)	<0,01 0,04 >0,05 (0,27-0,65)
Prise régulière de compléments alimentaires (≥3 fois/semaine)	Johnston 2021	Calcium : n=136 (32,5%) Probiotiques : n=97 (23,2%) Vitamine D : n=173 (41,3%) Omega 3s : n= 74 (17,7%) Autres	Calcium : n=189 (15,4%) Probiotiques : n=205 (16,7%) Vitamine D : n=319 (26,0%) Omega 3s : n= 233 (19%) Autres	<0,01 <0,01 <0,01 0,55 >0,05 (0,16-0,68)

Annexe 11 : Tableau des résultats liés aux facteurs anthropométriques et biomécaniques

Facteurs mesurés	Auteur/Années	Significativité statistique			Significativité clinique
		groupe FS	groupe NFS	p-value	
Longueur du tibia	Popp 2017	367,9 (356,8-379,1) mm	375,9 (364,8-387,1) mm	0,31	
Stress en traction (½ inf tibia)	Meardon 2015	Antérieure : 70,63 (SD 17,71) Médiale : 23,88 (SD 11,64)	Antérieure : 59,26 (SD 11,66) Médiale : 26,23 (SD 10,53)	0,014 0,477	0,76 0,21
Stress en compression (½ inf tibia)	Meardon 2015	Postérieure : -101.77 (SD 21.73) Latérale : - 55.71 (SD 16.46)	Postérieure : -89.77 (SD 15.43) Latérale : - 58.29 (SD 11.91)	0,036 0.545	0,64 0.18
Épaisseur os médullaire (mm)	Meardon 2015	Antéro-postérieure : 24,64 (2,58) Médiale-latérale : 22,77 (2,04)	Antéro-postérieure : 25,60 (2,93) Médiale-latérale : 23,11 (1,98)	0,245 0,578	0,380 0,169
Épaisseur du périoste (mm)	Meardon 2015	Antéro-postérieure : 9,27 (1,15) Médiale-latérale : 9,76 (1,13)	Antéro-postérieure : 9,56 (1,27) Médiale-latérale : 10,41 (1,21)	0,422 0,068	0,239 0,555

Annexe 12 : Tableau de la significativité clinique en fonction des facteurs de risque selon Johnston et al (2021)

Facteurs étudiées		OR	IC95%
Âge		0,98	[0,97;1,00]
Taille		0,95	[0,91;0,99]
Lieu de résidence	Urbain vs Suburbain Rural vs Suburbain Autre vs Suburbain	0,73 1,08 0,14	[0,54;0,99] [0,74;1,58] [0,02;1,18]
Âge de la première période menstruelle	≤12 ans vs. 13-15 ans ≥16 ans vs. 13-15 ans	0,81 1,62	[0,61;1,06] [0,93;2,80]
Absence règles ≥6 mois autres que la grossesse	Yes vs No	1,45	[1,10;1,91]
Distance de course par semaine pendant la saison (miles/sem)	0-10 vs 11-20 21-30 vs 11-20 31-40 vs 11-20 41+ vs 11-20	0,88 1,77 1,74 1,86	[0,62;1,25] [1,26;2,49] [1,02;2,98] [1,02;3,40]
Allure moyenne de course (min/miles)	<7:00 vs 9:00-9:59 7:00-7:59 vs 9:00-9:59 8:00-8:59 vs 9:00-9:59 10:00-10:59 vs 9:00-9:59 11:00-11:59 vs 9:00-9:59 12:00+ vs 9:00-9:59	0,46 1,59 0,99 0,71 0,43 0,54	[0,15;1,38] [0,94;2,71] [0,69;1,42] [0,49;1,04] [0,26;0,73] [0,31;0,94]
Système de planification de l'entraînement en CâP	Coach Oui vs Non	1,40	[1,01;1,94]
Entraînement croisé	Vélo Oui vs Non Randonnée Oui vs Non	1,51 0,72	[1,16;1,97] [0,55;0,94]
Autres pathologies liées à la course	Périostite Oui vs Non Blessure tendineuse Oui vs Non	3,24 1,47	[2,38;4,39] [1,07;2,01]
Problèmes médicaux associés	Asthme Oui vs Non Ostéopénie Oui vs Non	1,43 4,14	[1,01;2,02] [2,38;7,17]
Prise régulière de médicaments (≥3fois/semaine)	Anti-allergique Oui vs Non	0,42	[0,18;0,97]
Prise régulière de compléments alimentaires (≥3 fois/semaine)	Calcium Oui vs Non Omega-3s Oui vs Non Probiotics Oui vs Non Vitamin D Oui vs Non	1,78 0,51 1,47 1,54	[1,25;2,55] [0,35;0,74] [1,05;2,05] [1,11;2,15]

Annexe 13 : Niveau de qualité des données scientifiques selon GRADE (Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation) (34)

Niveau de qualité	Définition*
Élevé	Nous avons une confiance élevée dans l'estimation de l'effet : celle-ci doit être très proche du véritable effet.
Modéré	Nous avons une confiance modérée dans l'estimation de l'effet : celle-ci est probablement proche du véritable effet, mais il est possible qu'elle soit nettement différente.
Faible	Nous avons une confiance limitée dans l'estimation de l'effet : celle-ci peut être nettement différente du véritable effet.
Très faible	Nous avons très peu confiance dans l'estimation de l'effet : il est probable que celle-ci soit nettement différente du véritable effet.

Facteurs	Description du facteur	Niveau de qualité de départ (nombre de niveaux en moins ou en plus)
Type d'études	essais contrôlés randomisés	élevé
	études observationnelles*	faible
Facteurs qui peuvent diminuer le niveau de qualité des données scientifiques provenant d'études observationnelles et d'essais contrôlés randomisés	risque de biais	
	sérieux	(-1)
	très sérieux	(-2)
	hétérogénéité des résultats	
	importante	(-1)
	très importante	(-2)
	caractère direct des données	
	incertitude	(-1)
	incertitude majeure	(-2)
	imprécision	
	sérieuse	(-1)
	très sérieuse	(-2)
	biais de publication	
	probable	(-1)
	très probable	(-2)
Facteurs qui peuvent augmenter	force de l'association	

Facteurs	Description du facteur	Niveau de qualité de départ (nombre de niveaux en moins ou en plus)
le niveau de qualité des données scientifiques provenant d'études observationnelles	Données scientifiques solides d'une association – risque relatif significatif > 2 (< 0,5) fondé sur des données cohérentes issues d'au moins deux études observationnelles, sans facteurs de confusion plausible.	(+1)
	Données scientifiques très solides d'une association – risque relatif significatif > 5 (< 0,2) fondé sur des données directes, sans problème majeur de validité.	(+2)
	Données d'un gradient dose-réponse	(+1)
	Présence de facteurs de confusion plausibles	
	qui auraient réduit l'effet observé (ces facteurs n'ayant pas été pris en compte dans l'analyse avec ajustement) ;	(+1)
	qui auraient fait s'attendre à un effet alors que les résultats ne montrent aucun effet.	(+1)

***Annexe 14 : Grille d'évaluation de la qualité méthodologiques des revues de littérature
AMSTAR-2 (traduction en français) (67)***

Tableau I. Traduction française de AMSTAR-2.	
Items	Cotation
1	Est-ce que les questions de recherche et les critères d'inclusion de la revue ont inclus les critères PICO ?
2	Est-ce que le rapport de la revue contenait une déclaration explicite indiquant que la méthode de la revue a été établie avant de conduire la revue ? Est-ce que le rapport justifiait toute déviation significative par rapport au protocole ?
3	Les auteurs ont-ils expliqué leur choix de schémas d'étude à inclure dans la revue ?
4	Les auteurs ont-ils utilisé une stratégie de recherche documentaire exhaustive ?
5	Les auteurs ont-ils effectué en double la sélection des études ?
6	Les auteurs ont-ils effectuée en double l'extraction des données ?
7	Les auteurs ont-ils fourni une liste des études exclues et justifié les exclusions ?
8	Les auteurs ont-ils décrit les études incluses de manière suffisamment détaillée ?
9	Les auteurs ont-ils utilisé une technique satisfaisante pour évaluer le risque de biais des études individuelles incluses dans la revue ?
10	Les auteurs ont-ils indiqué les sources de financement des études incluses dans la revue ?
11	Si une méta-analyse a été effectuée, les auteurs ont-ils utilisé des méthodes appropriées pour la combinaison statistique des résultats ?
12	Si une méta-analyse a été effectuée, les auteurs ont-ils évalué l'impact potentiel des risques de biais des études individuelles sur les résultats de la méta-analyse ou d'une autre synthèse des preuves ?
13	Les auteurs ont-ils pris en compte le risque de biais des études individuelles lors de l'interprétation / de la discussion des résultats de la revue ?
14	Les auteurs ont-ils fourni une explication satisfaisante pour toute hétérogénéité observée dans les résultats de la revue, et une discussion sur celle-ci ?
15	S'ils ont réalisé une synthèse quantitative, les auteurs ont-ils mené une évaluation adéquate des biais de publication (biais de petite étude) et ont discuté de son impact probable sur les résultats de la revue ?
16	Les auteurs ont-ils rapporté toute source potentielle de conflit d'intérêts, y compris tout financement reçu pour réaliser la revue ?