



HAL
open science

Quantification de la charge d'entraînement et blessures liées a la course a pied : une revue systématique

Sacha Lantelme

► **To cite this version:**

Sacha Lantelme. Quantification de la charge d'entraînement et blessures liées a la course a pied : une revue systématique. Sciences du Vivant [q-bio]. 2023. dumas-04258262

HAL Id: dumas-04258262

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04258262>

Submitted on 27 Nov 2023

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

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

AIX-MARSEILLE UNIVERSITÉ
ÉCOLE DES SCIENCES DE LA RÉADAPTATION
FORMATION EN MASSO-KINÉSITHÉRAPIE

**QUANTIFICATION DE LA CHARGE
D'ENTRAÎNEMENT ET
BLESSURES LIÉES A LA COURSE A PIED :
UNE REVUE SYSTEMATIQUE**

LANTELME Sacha

Directeur de mémoire : Mr ROSTAGNO Stephan

REMERCIEMENTS

En premier lieu, je tiens à remercier mon maître de mémoire, Monsieur Stephan Rostagno, pour sa disponibilité, pour les précieux conseils méthodologiques qu'il a su me prodiguer ainsi que pour la pédagogie dont il a su faire preuve à mon égard.

Je remercie également toute l'équipe pédagogique et administrative de l'IFMK de Marseille, qui a su nourrir mon intérêt durant ces quatre années de formation, et qui a fourni un travail propice au bon déroulement de mon cursus d'étudiante.

À mes parents, qui m'ont soutenu dans tous mes choix depuis petite, et sans qui je n'aurais certainement jamais pu suivre la voie de mes rêves.

À ma mère, qui au-delà de l'éducation, m'a donné beaucoup d'amour et restera mon modèle pour toujours.

À mon père, qui a toujours été là pour nous et qui m'a transmis ses passions pour les voyages et la montagne.

À mon grand frère, à qui je dis merci pour la complicité qui nous lie et avec qui je souhaite traverser toutes les épreuves de la vie.

À mes grands-parents, qui ont participé à l'évolution de mon esprit et de ma personne. Pour toutes les valeurs, les poésies, les histoires et les souvenirs qu'ils m'ont apportés.

À Hugo, pour son aide dans la confection de ce travail et pour le soutien et l'amour qu'il m'offre tous les jours.

J'adresse enfin mes remerciements aux amis et aux membres de ma famille que je n'ai pas cités ici, qui m'ont soutenu et qui ont contribué à mon bonheur tout au long de mon parcours.

TABLE DES MATIERES

1. INTRODUCTION	1
1.1. LA COURSE A PIED	1
1.1.1. Généralités sur la course à pied	1
1.1.2. Les bienfaits de la course à pied	2
1.1.3. Les risques liés à la course à pied	3
1.1.4. Blessures et douleurs liées à la course à pied	3
1.1.5. Epidémiologie des blessures en course à pied	4
1.2. ADAPTATIONS MUSCULO-SQUELETTIQUES A LA COURSE	4
1.2.1. Adaptations des fibres musculaires	4
1.2.2. Adaptations du métabolisme musculaire	5
1.2.3. Adaptations tendineuses	6
1.2.4. Adaptations méniscales	6
1.2.5. Adaptations osseuses	6
1.2.6. Adaptations du cartilage	6
1.2.7. Adaptations à l'arrêt de l'entraînement	7
1.3. QUANTIFICATION DE LA CHARGE D'ENTRAINEMENT	7
1.3.1. La charge d'entraînement	7
1.3.2. Le stress mécanique	8
1.3.3. Les systèmes de quantification	9
1.4. BLESSURES MUSCULO-SQUELETTIQUES LIEES A LA COURSE	11
1.4.1. Facteurs de risques intrinsèques	11
1.4.2. Facteurs de risques extrinsèques	13
1.4.3. Modificabilité des facteurs de risques	14
1.4.4. Modèles théoriques supposés des blessures les plus courantes	15
1.5. PRISE EN CHARGE DU COUREUR	16
1.5.1. La quantification de la charge d'entraînement : une idée émergente	16
1.5.2. Le rôle des kinésithérapeutes dans la prévention	17
1.5.3. Problématisation	17
2. METHODE	18
2.1. CRITERES D'ELIGIBILITE DES ETUDES	18
2.1.1. Schémas d'études	18
2.1.2. Population	18
2.1.3. Intervention et comparateur	18
2.1.4. Critères de jugement	19
2.2. METHODOLOGIE DE LA RECHERCHE DES ETUDES	19

2.2.1.	Bases de données investiguées	19
2.2.2.	Equations de recherche utilisées	20
2.3.	METHODE D'EXTRACTION ET D'ANALYSE DES DONNEES.....	21
2.3.1.	Méthode de sélection des études	21
2.3.2.	Extraction des données	21
2.3.3.	Evaluation de la qualité méthodologique des études sélectionnées	22
2.3.4.	Méthode de synthèse des résultats	23
3.	RESULTATS.....	26
3.1.	DESCRIPTION DES ETUDES INCLUSES	26
3.1.1.	Processus de sélection	26
3.1.2.	Etudes exclues après lecture complète.....	28
3.1.3.	Présentation des études incluses	28
3.2.	RISQUES DE BIAIS DES ETUDES INCLUSES	32
3.2.1.	Essais cliniques randomisés.....	32
3.2.2.	Cohortes prospectives.....	33
3.3.	ASSOCIATION ENTRE LES PARAMETRES DE L'ENTRAINEMENT ET LES CRITERES DE JUGEMENT ETUDIES.....	34
3.3.1.	Résultats des études de cohorte.....	34
3.3.2.	Résultats des essais contrôlés randomisés	43
3.3.3.	Mise en commun des résultats : Méta-analyse	44
4.	DISCUSSION	47
4.1.	ANALYSE DES PRINCIPAUX RESULTATS	47
4.1.1.	Principaux résultats.....	47
4.1.2.	Hétérogénéité des études incluses	55
4.1.3.	Risques de biais des études incluses	58
4.2.	NIVEAU DE PREUVE.....	59
4.3.	APPLICABILITE DES RESULTATS EN PRATIQUE CLINIQUE.....	60
4.4.	EVALUATION DE LA QUALITE DE LA REVUE	60
4.4.1.	Points forts	60
4.4.2.	Limites	62
4.4.3.	Biais potentiels	63
5.	CONCLUSION.....	64
5.1.	IMPLICATIONS POUR LA RECHERCHE.....	64
5.2.	IMPLICATIONS POUR LA PRATIQUE CLINIQUE	65
6.	BIBLIOGRAPHIE	66
7.	ANNEXES.....	72

1. Introduction

1.1. La course à pied

1.1.1. Généralités sur la course à pied

L'homo sapiens a survécu aux autres espèces d'hominidés pour des raisons diverses sur lesquelles la science reste partagée. Pour certains scientifiques, comme Daniel Lieberman, anthropologue à l'université d'Harvard, c'est en partie grâce à sa capacité de courir. En effet, avant de devenir un loisir, un sport, un phénomène culturel, la course a longtemps été un mode de chasse et de fuite nécessaire à la pérennité de l'espèce.

Le corps humain a été façonné pour courir. Les humains sont remarquablement performants en course d'endurance, grâce à un large éventail de caractéristiques anatomiques. Les preuves fossiles de ces caractéristiques suggèrent que la course d'endurance est une capacité dérivée du genre Homo, originaire d'il y a environ deux millions d'années [1].

De nos jours, la course à pied est définie de la manière suivante : discipline sportive, appartenant à l'athlétisme, qui consiste à courir, c'est-à-dire à se déplacer rapidement par une suite d'élan, en prenant appui alternativement sur une jambe puis sur l'autre¹.

La course à pied représente en réalité une multitude de sous-disciplines sportives, toutes aussi variées les unes que les autres : sprint, demi-fond, relais, trail... De même, la course se pratique sur différentes surfaces : asphalte, sable, chemins forestiers, tapis de course, pistes synthétiques, herbe... rendant sa pratique très diversifiée.

Dans de nombreux sports, la pratique régulière de la course à pied est un préalable indispensable à l'amélioration des performances. Parmi les sports les plus populaires nécessitant une préparation physique axée sur la course, il est possible de citer le rugby, le football ou encore le basket-ball.

La démocratisation de la course à pied est récente dans nos sociétés occidentales. Selon une étude de la fédération française d'athlétisme, la France comptait environ 8,5 millions de pratiquants, soit 19% de la population, en 2014².

Selon le baromètre des pratiques sportives 2022 de l'Institut National de la Jeunesse et de l'Education Populaire (INJEP), bien que les disciplines sportives pratiquées par les Français soient très variées, l'univers de la marche et de la course à pied s'avère de loin le plus prisé [2]. Ces deux disciplines représentent en effet 47% des sports pratiqués en France, et sont en évolution ces dernières années.

Il est intéressant de noter qu'en 2020 51% des pratiquants français couraient seuls, et 66% en période de confinement. De plus, 55% d'entre eux couraient en autonomie complète, c'est-à-dire sans aucun encadrement. Les pratiques autonomes semblent privilégiées par rapport à celles qui s'exercent en club ou autre structure commerciale [3].

Selon le rapport de l'INJEP 2018, 27% des coureurs pratiquaient la course à pied moins d'une fois par semaine, 25% d'entre eux une à deux fois par semaine, 21% deux à trois fois par semaine, 20% trois à

¹ Linternaute. Course à pied : Définition simple et facile du dictionnaire [En ligne]. 2021 Jan 1 [cité le 5 Novembre 2022].

² Florian Gaudin-Wine. Fédération Française d'Athlétisme. Enquête : La course à pied à l'étude [En ligne]. 2014 Apr 30 [cité le 5 Novembre 2022].

quatre fois par semaine et 16% plus de quatre fois par semaine. L'INJEP souligne que, parmi eux, 61% pratiquaient la course régulièrement tout au long de l'année.

Sur une échelle d'auto-évaluation allant d'un à cinq, représentant respectivement le niveau débutant et le niveau expert, 14% des coureurs estimaient être « débutants », 25% être de « niveau 2 », 50% de « niveau 3 », 10% de « niveau 4 » et 2% seulement estimaient être « experts » [4]. La majorité des coureurs français semble donc être de niveau débutant ou intermédiaire.

Les organisateurs d'événements sportifs cherchent à développer des concepts innovants permettant d'attirer les coureurs débutants comme expérimentés. En effet, la récente popularité pour la course donne naissance ces dernières années à de nombreux événements ludiques comme les célèbres "*color run*", parcours jalonnés d'obstacles et éclaboussés de couleurs, auxquels ont participé huit millions de personnes à travers le monde en 2020³.

1.1.2. Les bienfaits de la course à pied

Certains scientifiques pensent que nous sommes inadaptés au monde moderne, au mode de vie occidental. Selon eux, notre corps, hérité du paléolithique, souffre dans l'environnement présent. Certains parlent même de dysévolution [5]. Nos habitudes de vie contredisent en effet nos adaptations fondamentales : alimentation industrielle riche, environnement aseptisé, sédentarité croissante...

La sédentarité correspond aux situations passées en position assise ou allongée, hors période de sommeil et de repas, au cours desquelles les mouvements du corps sont réduits à leur minimum. Regarder la télévision, travailler à son bureau ou être passager d'un véhicule sont par exemple des activités sédentaires⁴.

L'homme moderne passe une grande partie de sa journée assis. Cela a fait l'objet d'une enquête en 2020, période du confinement durant laquelle les Français passaient en moyenne 6 heures et 19 minutes par jour en position assise⁵. Cela représente un risque sociétal majeur puisque cette sédentarité croissante est associée à la hausse de plusieurs maladies chroniques. Il s'agirait même de la première cause non transmissible de mortalité dans le monde [6].

Aujourd'hui, dans une société qui se sédentarise de plus en plus, la course à pied est devenue une véritable discipline sportive. Ainsi, l'une des missions principales que s'est donnée La Clinique Du Coureur, organisme de formation pour les professionnels de la santé et du sport, devenu une référence mondiale, est d'éduquer à la santé par la course.

Différentes raisons sont susceptibles d'expliquer l'attrait croissant pour la course à pied dans le monde. Il est par exemple possible de citer la diffusion massive d'informations liées aux bienfaits que procure cette discipline sportive sur la santé : contrôle du poids, meilleure santé cardio-vasculaire, accroissement de la longévité, prévention de certaines pathologies psychiques comme la dépression. Les trois principales motivations pour la course à pied invoquées par les coureurs sont, selon la fédération française d'athlétisme : l'amélioration de la condition physique (58%), l'amélioration de la

³ TheColorRun. About – The Color Run [En ligne]. 2022 Sep [cité le 5 Novembre 2022].

⁴ Santé Publique France. Activité physique et sédentarité [En ligne]. 2019 Sep 6 [cité le 5 Novembre 2022].

⁵ Santé Publique France. Confinement : un impact certain sur l'activité physique, le temps passé assis et le temps passé devant un écran [En ligne]. 2020 Jun 17 [cité le 5 Novembre 2022].

santé (58%) et la perte de poids (35%). La course à pied s'impose donc plus que jamais comme une activité très étroitement liée au bien être⁶.

D'une manière plus générale, l'activité physique présente de nombreux bénéfices autre que ceux préalablement cités. Courir apparaît comme une véritable forme de thérapie du corps et de l'esprit. Comme disait Edward Stanley : « *Ceux qui pensent qu'ils n'ont pas le temps de faire de l'exercice physique devront tôt ou tard trouver du temps pour la maladie.* ».

1.1.3. Les risques liés à la course à pied

La course à pied est un phénomène mondial croissant. De ce fait, de nombreux chercheurs s'intéressent à ce sujet ces dernières années. Certains d'entre eux mentionnent les effets néfastes que peut présenter la pratique de la course.

Comme expliqué précédemment, malgré le fait que la course soit, au même titre que la marche, l'activité physique la plus adaptée à l'organisme humain, cette dernière peut tout de même présenter des effets délétères sur l'organisme.

Parmi les effets néfastes qu'est susceptible de présenter la pratique de la course, il est possible de citer le risque de dépendance, d'addiction, qui est plus élevé dans les disciplines d'endurance que dans toute autre discipline sportive [7].

De plus, les jeunes athlètes d'endurance sont également plus à risque de souffrir d'un RED-S (*Relative Energy Deficiency in Sports*), autrement appelé « triade de l'athlète féminine ». Le RED-S se caractérise par un ensemble de conséquences physiologiques : troubles alimentaires, troubles menstruels, faible densité osseuse. Ceux-ci surviennent suite à un surentraînement, associé à un faible apport calorique⁷.

Ajouté à cela, plusieurs études suggèrent que les femmes sont susceptibles de développer de l'incontinence urinaire d'effort [8]. La course à pied est une activité à fort impact, souvent pratiquée sur un sol rigide. Associée à une mauvaise technique de course, elle peut engendrer des problèmes de plancher pelvien, rendant la vessie aisément sujette à des fuites.

Enfin, l'élément qui revient le plus souvent dans la littérature, est le risque important de blessures musculo-squelettiques ou de douleurs dans les membres inférieurs et le dos [9,10].

1.1.4. Blessures et douleurs liées à la course à pied

Il est primordial de s'accorder sur une définition universelle d'une blessure liée à la course afin de pouvoir comparer les résultats de différentes études entre elles. A ce jour, les études présentent des définitions des *Running-Related Injuries* (RRI) hétérogènes, engendrant des biais importants. Dans un article de consensus publié en 2015, une RRI a été définie comme suit : « *douleur musculo-squelettique liée à la course (entraînement ou compétition) dans les membres inférieurs qui provoque une restriction ou arrêt de la course (distance, vitesse, durée ou entraînement) pendant au moins 7 jours ou 3 séances d'entraînement consécutives programmées, ou qui oblige le coureur à consulter un médecin ou un autre professionnel de la santé* » [11].

⁶ Florian Gaudin-Wine. Fédération Française d'Athlétisme. Enquête : La course à pied à l'étude [En ligne]. 2014 Apr 30 [cité le 5 Novembre 2022].

⁷ CHUV. Le syndrome du RED-S (déficit énergétique relatif dans le sport) chez les jeunes sportives [En ligne]. 2021 Dec 29 [cité le 5 Novembre 2022].

Cette définition inclut la notion de douleur musculo-squelettique. Selon l'Association Internationale pour l'Etude de la Douleur (IASP) : « *la douleur est une expérience sensorielle et émotionnelle désagréable associée à une lésion tissulaire réelle ou potentielle ou décrite dans ces termes* »⁸. Ainsi, selon l'IASP, la douleur n'est pas systématiquement corrélée à la présence de lésions et inclut inéluctablement une notion de subjectivité. Les patients sont les seuls capables d'indiquer aux soignants ce qu'ils ressentent. Objectiver la douleur est compliqué, voire impossible, puisqu'il s'agit d'une expérience personnelle, propre à chacun.

De plus, il faut garder à l'esprit que la douleur est une interprétation du système nerveux, et que chaque cerveau étant unique, chacun interprète le message douloureux différemment. C'est pourquoi deux êtres humains n'ont pas les mêmes seuils de tolérance à la douleur. Il existe par exemple des disparités homme/femme dans la perception de la douleur et son seuil de tolérance. Ainsi, certains coureurs développent des douleurs et d'autres n'en développent pas pour le même niveau de sollicitation ou de lésion [12].

Il est important d'inclure la douleur comme critère de jugement dans les études s'intéressant au lien de causalité entre la charge d'entraînement et les blessures liées à la course car, malgré sa notion de subjectivité, celle-ci est un message envoyé par le corps qui ne doit jamais être négligé. Il s'agit d'un message de protection indiquant la nécessité d'arrêter de solliciter la structure impliquée. Une douleur apparaissant pendant ou après la pratique sportive est un premier indice que le corps est sollicité au-delà de ses limites.

1.1.5. Epidémiologie des blessures en course à pied

Selon une étude réalisée en 2010, les blessures surviennent chez 40 à 50 % des coureurs sur une base annuelle [9]. Une personne sur deux qui court se blesse au moins une fois dans l'année. Plusieurs articles suggèrent que cela est d'autant plus vrai chez les novices, la plupart du temps sans encadrement médical ou sportif institutionnel [13,14].

Il existe une grande hétérogénéité de blessures liées à la course à pied. Parmi les plus courantes il est possible de citer : le syndrome de stress médial du tibia, la tendinopathie d'Achille, la fasciite plantaire et le syndrome fémoro-patellaire [10]. Le genou, la cheville et le pied représenteraient les sièges les plus fréquents de blessures [15].

1.2. Adaptations musculo-squelettiques à la course

1.2.1. Adaptations des fibres musculaires

Un muscle squelettique est composé de différentes cellules appelées myocytes. Il existe trois catégories distinctes de myocytes :

- **Les myocytes oxydatifs lents** ou « myocytes de type I » : ces derniers ont un petit diamètre, une faible puissance, une contraction lente, résiste à la fatigue et produisent des contractions musculaires soutenues.

- **Les myocytes oxydatifs-glycolytiques rapides** ou « myocytes de type IIA » : ces derniers ont des caractéristiques intermédiaires entre les myocytes I et IIB.

⁸ Ministère de la Santé et de la Prévention. La douleur [En ligne]. 2022 Mar 16 [cité le 5 Novembre 2022].

- **Les myocytes glycolytiques rapides** ou « myocytes de type IIB » : ces derniers ont le plus grand diamètre, le plus de myofibrilles, produisent une puissante contraction, rapide, mais se fatigue aisément [16]

La plupart des muscles squelettiques contiennent les trois catégories de myocytes mais leur proportion varie selon les muscles et l'activité sportive pratiquée. Il existe également des myocytes qualifiés « d'hybrides » possédant des caractéristiques communes à deux types de myocytes considérés.

Les muscles squelettiques possèdent une microarchitecture très organisée et ont la capacité de s'adapter aux différents stimulus qui leurs sont imposés, c'est ce qu'on appelle la plasticité musculaire. Cette dernière correspond, entre autres, à une modification du nombre et/ou du type de myocytes compris dans le muscle. La plasticité est fonction de l'intensité, de la durée et de la fréquence de l'entraînement. Plusieurs études ont en effet étudié les adaptations qui se produisent à l'intérieur des muscles squelettiques suite à un entraînement en course à pied.

Le diamètre des fibres musculaires de type I et II est plus important chez le coureur d'endurance par rapport à un individu lambda, notamment au niveau de certains muscles très sollicités en course à pied comme le vaste latéral ou les gastrocnémiens [17–19]. De plus, il existerait une relation exponentielle entre l'augmentation de la distance de course et l'augmentation des fibres musculaires lentes [20].

L'adaptation musculaire se traduit par un changement de la puissance de contraction des fibres. La puissance du muscle gastrocnémien d'un coureur expérimenté serait par exemple supérieure à celle d'un coureur sans expérience [18,21]. Plusieurs études ont également mis en évidence une augmentation de la force de contraction des fibres lentes suite à un entraînement en endurance [19,21,22].

Finalement, la vitesse de contraction des fibres musculaires des coureurs expérimentés est supérieure à celle d'individus quelconques [18,22].

1.2.2. Adaptations du métabolisme musculaire

Pour produire une contraction, les muscles ont besoin d'Adénosine-Triphosphate (ATP), composant phosphoré source d'énergie musculaire. Il existe trois manières de produire de l'ATP, autrement dit, trois filières énergétiques distinctes :

→ **La filière anaérobie alactique**, qui consiste à catalyser de la créatine phosphate. Cette première voie est préférentiellement utilisée lors d'efforts intensifs et brefs tels que le sprint. Sa durée d'action est faible, de l'ordre de quelques secondes, mais sa puissance est très importante.

→ **La filière anaérobie lactique**, qui consiste à produire de l'énergie en utilisant du glucose, sans avoir recours à l'oxygène. C'est la filière énergétique prépondérante lors d'efforts courts. Sa durée d'action et sa puissance ont des caractéristiques intermédiaires aux deux autres filières.

→ **La filière aérobie**, qui est la seule filière dont le processus métabolique utilise de l'oxygène. Elle est prépondérante sur des efforts de longue durée tels que la course d'endurance. Sa durée d'action est très grande mais sa puissance est relativement faible.

La course d'endurance favoriserait une augmentation des enzymes oxydatives [23,24]. L'augmentation de cette activité concerne tous les types de fibres musculaires, mais elle est plus marquée au niveau des fibres lentes [24].

1.2.3. Adaptations tendineuses

Les tendons possèdent, eux aussi, la capacité de s'adapter aux différents stress mécaniques qui leurs sont imposés [25]. Ces adaptations se traduisent par exemple par une augmentation d'épaisseur [20], qui semble corrélée à la durée et à l'intensité de l'entraînement [26,27].

1.2.4. Adaptations méniscales

Ces dernières années, les techniques d'imagerie par résonance magnétique quantitatives ont montré un grand potentiel et une capacité unique à déterminer de manière non invasive la réponse des tissus à différents niveaux de charges. Après la fin d'une course en endurance, une diminution des valeurs des temps de relaxation, corrélés à l'intégrité structurale de la matrice collagénique méniscale, a été observée [28,29].

1.2.5. Adaptations osseuses

Le tissu osseux se compose principalement de trois types cellulaires :

- Les **ostéoblastes**, qui produisent la matière osseuse
- Les **ostéocytes**, cellules osseuses matures capables d'effectuer les activités métaboliques du tissu osseux
- Les **ostéoclastes**, qui dégradent la matrice osseuse, permettant ainsi un remodelage osseux continu [16]

L'exercice physique est l'un des principaux stimuli octroyant le remaniement osseux. Ce dernier a pour rôle de rendre l'os plus résistant aux contraintes qui lui sont imposées. Lors d'un exercice physique, les muscles squelettiques, en se contractant, ont une incidence sur le remodelage osseux par les contraintes qu'ils induisent sur l'os. De même, l'impact au sol lors de la course à pied favorise le remodelage.

À l'inverse, lorsque l'os est privé de stress mécanique, la résorption osseuse devient plus importante que sa formation et l'os se fragilise [30]. Il semble donc important d'adopter un mode de vie actif.

À la fin du XIXe siècle, le chirurgien allemand Julius Wolff a décrit le rapport entre le stress imposé aux os et leur remodelage. Selon lui, les os s'adaptent en fonction des exigences qui leur sont imposées, donc en fonction des différentes activités pratiquées. Ce concept est connu sous le nom de « loi de Wolff » ou « adaptation fonctionnelle osseuse » [31].

La densité osseuse des jambes d'un coureur serait supérieure à celle des autres os du corps, supportant ainsi la théorie de la spécificité des adaptations [32].

L'augmentation de la distance de course parcourue par semaine est corrélée à l'augmentation de la stimulation des ostéoblastes. En revanche, s'entraîner sur une longue période aurait une incidence négative sur la densité minérale osseuse [32,33].

1.2.6. Adaptations du cartilage

Contrairement aux os, le cartilage articulaire n'est ni vascularisé, ni innervé. Il a pour rôles de limiter la friction entre les os et d'absorber les chocs.

Durant la marche, une force d'environ 300% du poids corporel est imposée aux articulations des membres inférieurs. Certains auteurs affirment que cette force est approximativement de 500% à la course [34], et d'autres déclarent qu'elle est 4 à 8 fois supérieure qu'à la marche [35].

L'arthrose est la maladie articulaire la plus répandue. Elle est l'une des principales causes d'incapacité chez les adultes dans les pays industrialisés⁹. A priori, il est impossible à ce jour d'affirmer avec certitude que les coureurs présentent un risque supérieur d'arthrose par rapport aux individus non coureurs [36,37].

1.2.7. Adaptations à l'arrêt de l'entraînement

Comme expliqué précédemment, le système musculo-squelettique détient la capacité de s'adapter à différents stimulus. Ces adaptations sont cependant réversibles. En effet, à l'arrêt de la stimulation, le tissu musculaire s'adapte à nouveau : diminution des fibres lentes et augmentation des fibres rapides, atrophie musculaire et perte significative de force, diminution des enzymes mitochondriales, de la capacité de production d'ATP et de la densité des capillaires [38].

Les adaptations tendineuses sont moins rapides que celles qui affectent les muscles. Cependant, il est possible de noter une diminution significative de la force, de la rigidité élastique et une atrophie tendineuse suite à l'arrêt de l'entraînement. Les tendons sont également désorganisés et présentent moins de liens croisés [39].

Enfin, une diminution du volume d'entraînement est corrélée à une diminution de la densité minérale osseuse [40].

1.3. Quantification de la charge d'entraînement

1.3.1. La charge d'entraînement

La charge d'entraînement est une valeur calculée en fonction des entraînements d'un sportif sur une période donnée, elle représente une estimation du niveau de sollicitation de l'organisme au cours d'un entraînement, lorsque ce dernier est soumis à différents stress. Elle doit être considérée comme une variable liée au temps car elle varie sans cesse.

La charge d'entraînement peut être divisée en deux catégories :

→ **La charge externe**, qui est définie comme tout stimuli externe appliqué à l'athlète. C'est l'effort physique réalisé lors des entraînements, compétitions et activités physiques de la vie courante. Elle est mesurée objectivement à l'aide de chronomètres, capteurs GPS, accéléromètres ou dynamomètres.

La déclaration de consensus du Comité International Olympique (CIO) a identifié différentes mesures de la charge externe (64) :

- **La fréquence** : caractérise le nombre de fois où un phénomène se produit dans un temps donné. En course à pied il s'agit du nombre de séances effectuées par période¹⁰.

⁹ Inserm. Arthrose : La maladie articulaire la plus répandue [En ligne]. 2022 Nov 14 [cité le 17 Novembre 2022].

¹⁰ Dictionnaire Larousse. Définition : fréquence [En ligne]. [cité le 5 Novembre 2022].

- **L'intensité** : représente le degré d'activité, de force ou de puissance. Une forte intensité en course à pied correspondrait, par exemple, à un pourcentage de la fréquence cardiaque maximale atteinte élevé¹¹.
- **Le volume** : représente, en course à pied, la distance parcourue par unité de temps. Ce pourrait être la moyenne hebdomadaire des kilomètres parcourus sur un mois [41].

→ **La charge interne**, qui représente la réponse psychologique et physiologique à la charge externe, combinée à celle des activités de la vie courante et autres facteurs environnementaux et biologiques. Elle est mesurée à l'aide d'indicateurs objectifs, tels que la fréquence cardiaque ou le taux de lactates sanguins, et à l'aide d'indicateurs subjectifs, tels que le système de quantification de l'effort perçu, autrement appelé *Rated Perceived Exertion (RPE) Scale* [42].

1.3.2. Le stress mécanique

Lors d'une activité physique comme la course à pied, laquelle implique des séries de sauts, les tissus sont stressés mécaniquement par différentes forces.

Le stress mécanique est défini comme une force de résistance lorsqu'un corps est soumis à une déformation ou à une charge [43]. Dans cette définition apparaissent les notions de contrainte et d'adaptation.

Comme vu précédemment, si le corps considéré est l'être humain, un stress mécanique insuffisant aura pour conséquence une fragilisation et un déconditionnement tissulaire. Un stress trop important aura à l'inverse pour effet d'altérer les tissus, conduisant à un risque élevé de blessure. Pour éviter les blessures, l'idée serait de rester dans une zone qui permettrait une adaptation et une augmentation de la tolérance tissulaire. L'idée est la suivante : stresser le corps sans excès. Ainsi les structures se solidifient et permettent d'augmenter progressivement les performances sportives, sans courir de risques [44].

La majorité des blessures en course à pied sont liées au fait d'exercer des stress tissulaires excédants la capacité du corps à les recevoir. Autrement dit, de nombreuses hypothèses laissent présager que les blessures seraient la conséquence d'une surcharge exercée sur les tissus. Si le corps n'est pas préparé progressivement à encaisser les contraintes qui lui sont appliquées pendant l'effort, s'il n'a pas le temps de s'adapter aux changements en solidifiant ses structures, alors le sportif se blesse. Le Comité International Olympique a exprimé des recommandations à ce sujet dans une déclaration de consensus en date de septembre 2016 [42].

Des chercheurs ont émis l'hypothèse que les coureurs qui subissent des RRI ont dépassé leur limite de charge d'entraînement sur une ou plusieurs séances, entraînant des blessures à défaut d'une adaptation tissulaire [45].

¹¹ Dico en ligne Le Robert. Définition : intensité [En ligne]. 2022 Jun 17 [cité le 5 Novembre 2022].

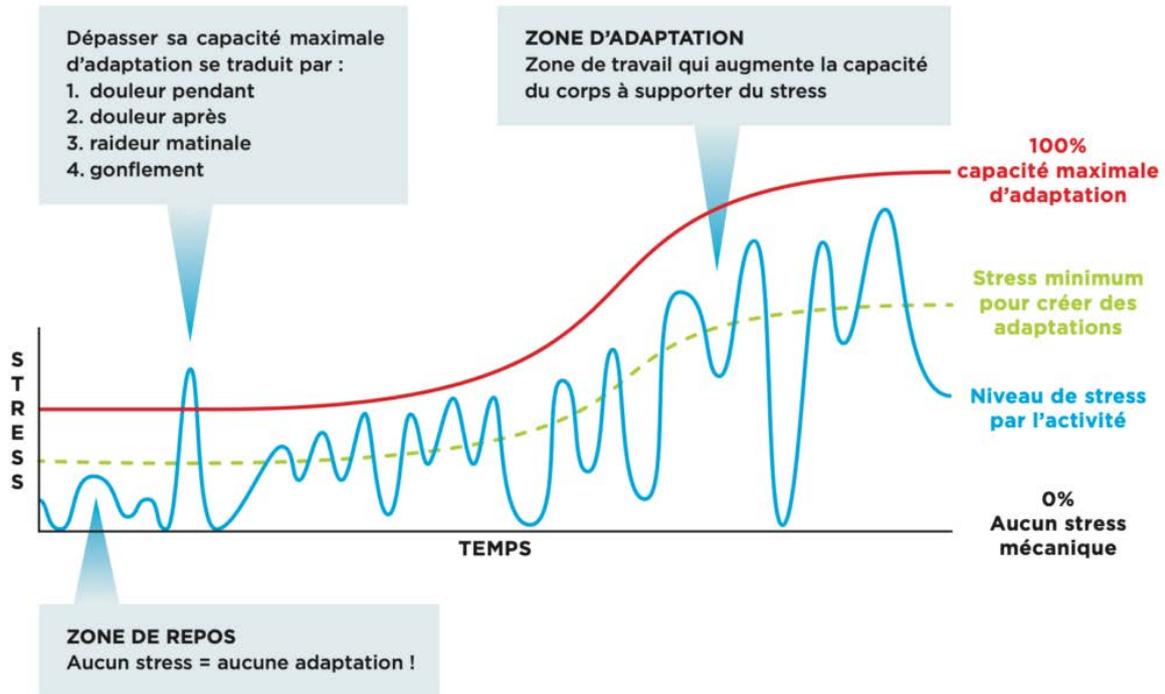


Fig 1 : Quantification du stress mécanique, 2001, La Clinique du Coureur

1.3.3. Les systèmes de quantification

La charge interne peut être analysée à partir d'échelles subjectives telles que l'échelle RPE.

Cette dernière est basée sur le ressenti de l'athlète durant sa séance d'entraînement ou à l'issue de celle-ci, afin d'évaluer sa forme à un instant t. Elle est calculée en utilisant l'échelle d'auto-évaluation de Borg, cotée de 6 à 20, ou en utilisant l'échelle de Borg modifiée, cotée de 0 à 10.

L'échelle de Borg, introduite en 1973 par le professeur Gunnar Borg, permet d'obtenir une mesure quantitative de la perception de l'effort durant un exercice physique. Cette mesure est utilisée en médecine pour le diagnostic : mesure de l'essoufflement, de la dyspnée, de l'intensité des douleurs. Elle est également exploitée en médecine du sport pour évaluer l'intensité d'un exercice ou d'une compétition et ainsi en déduire la charge d'entraînement.

Si la mesure est subjective, il a été démontré qu'elle est corrélée à de nombreux paramètres physiologiques : fréquence cardiaque, accumulation de lactates sanguins, seuil ventilatoire... L'échelle originelle est d'ailleurs échelonnée de 6 à 20 de manière à être aussi proche que possible de la valeur 1/10 de la fréquence cardiaque. Ainsi une fréquence cardiaque, exprimée en bpm, serait égale à la valeur RPE multipliée par 10, soit des valeurs comprises entre 60 et 200 bpm, pour des sujets sains, d'âge moyen (30-50 ans) effectuant un effort progressif modéré à important.

La recherche a montré que le système de quantification RPE est une méthode fiable et facile à mettre en place puisqu'elle ne requiert aucun équipement particulier¹² [46]. Il est cependant préférable de l'associer à d'autres systèmes de surveillance plus objectifs.

¹² PowerliftingMag. Le niveau d'effort perçu ou RPE, entraîne-toi intelligemment [En ligne]. 2017 Jun 9 [cité le 5 Novembre 2022].

BORG 6-20 original	BORG 1-10 modifié	% FC maximale	Perception	Activité
6	0	50-60%	repos	repos
7				
8	1		très très facile	marche
9				
10	2	60-70%	facile	léger jogging
11				
12	3	70-80%	modéré	jogging
13				
14	4	80-90%	un peu dur	seuil
15	5			
16	6	90-95%	dur	intervalles
17	7			
18	8	95-100%	très dur	intervalles
19	9			
20	10		très très dur maximal	

Tab 1 : Echelle de Borg et ses adaptations, 1973, Borg

La charge externe peut quant à elle être mesurée à l'aide de variables telles que la distance totale parcourue ou la durée d'un entraînement.

Comme expliqué précédemment, le calcul de la charge d'entraînement peut être effectué à un instant t, ou prendre en considération ses variations au cours du temps. C'est le cas du ratio ACWR (*Acute Chronic Workload Ratio*) ou ratio de charge de travail aiguë/chronique, qui s'est récemment développé dans le but de prédire le risque lésionnel. Les ACWR sont calculés en divisant la charge de travail aiguë, soit la charge totale au cours de la dernière semaine d'entraînement par exemple, par la charge de travail chronique, soit généralement une moyenne des trois à six dernières semaines.

Il est possible d'interpréter l'ACWR de la manière suivante :

- **Ratio $\geq 1,3$: Risque de blessure très élevé.** Lorsque la charge aiguë subit une forte augmentation, l'athlète s'expose à un risque de blessure accru.
- **$0,85 < \text{Ratio} < 1,3$: Faible risque de blessure.** La charge d'entraînement aiguë est approximativement égale à la charge d'entraînement chronique. Dans ce cas, le risque de blessure est relativement faible.
- **Ratio $\leq 0,85$: Risque de blessure augmenté.** Une charge d'entraînement trop faible peut également exposer l'athlète à la blessure car le sous-entraînement signifie que le sportif n'est pas préparé aux exigences de sa discipline [47,48].

Il est cependant important de préciser que ces valeurs sont sensiblement différentes d'une étude à l'autre. Certains auteurs suggèrent par exemple que le risque de blessures le plus faible correspond à un ratio compris entre 0,8 et 1,25. Quoiqu'il advienne, des ratios élevés ou bas semblent, dans toutes les études, exposer l'athlète à un risque de blessure augmenté [49,50].

Une méthode similaire connue sous le nom de *Training Stress Balance* (TSB) a également été référencée dans la littérature. Cette dernière est calculée en utilisant la même méthodologie mais présentée sous forme de pourcentage plutôt que de ratio.

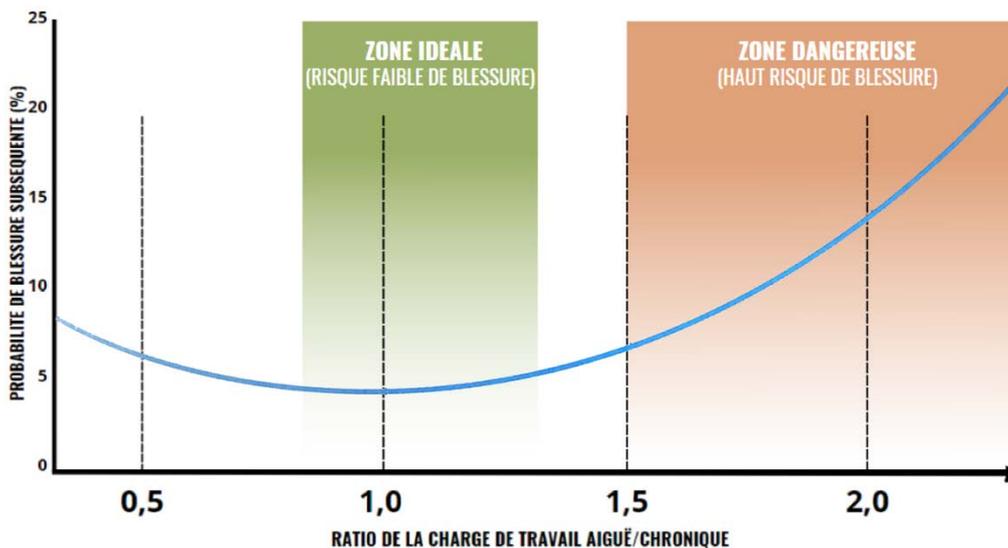


Fig 2 : Charge de travail et blessure, 2020, La Clinique Du Coureur (Adapté de Blanch et Gabbett, 2016)

1.4. Blessures musculo-squelettiques liées à la course

Le mécanisme étiologique sous-tendant toute blessure liée au sport est complexe et multifactoriel. Afin de traiter une blessure, il est important d'identifier sa cause. Pour qu'il soit réussi, le traitement doit être basé sur un diagnostic spécifique. C'est pourquoi démêler l'étiologie des blessures liées à la course a fait l'objet d'une attention scientifique considérable au cours des dernières décennies. Un grand nombre de facteurs de risque a d'ores et déjà été décelé. En effet, certains facteurs ont été identifiés par les données actuelles de la science, dont voici les principaux.

1.4.1. Facteurs de risques intrinsèques

1.4.1.1. Le genre

Le premier facteur de risque intrinsèque qui pourrait influencer le risque de blessures est le genre. Les avis divergent cependant à ce sujet. Certaines études trouvent des taux de blessures significativement plus élevés chez les coureurs masculins [51], tandis que d'autres concluent que ce sont les femmes qui ont un taux de blessures supérieur [52].

1.4.1.2. Caractéristiques anatomiques

Certaines caractéristiques anatomiques comme la mesure de l'angle Q, le genu varum/ valgum, les inégalités de longueur des membres inférieurs ou la hauteur de l'arche plantaire, pourrait avoir une incidence sur le risque de blessure du coureur.

1.4.1.3. Cinétique de course

Les forces d'impact durant la course représentent plusieurs fois le poids corporel. Il a été suggéré par plusieurs auteurs que les forces d'impact sont associées aux blessures de surmenage. La cinétique est l'étude des forces appliquées sur le corps durant le mouvement. Cela comprend par exemple l'étude du déplacement vertical ou de l'attaque du pied [53]. Selon notre cinématique de course, l'impact serait différent. Par conséquent le risque de blessures le serait pareillement.

Une augmentation de la cadence a pour conséquence une diminution du stress mécanique et une diminution de la vitesse de la force d'impact, par adoption d'une biomécanique de course plus

protectrice : diminution de la longueur des pas et du déplacement vertical [54,55]. La force d'impact représente l'onde de choc qui se propage dans le corps au moment où le pied touche le sol. Plus sa vitesse est importante, plus elle monte haut dans l'organisme.

Selon Blaise Dubois, fondateur de la Clinique Du Coureur, une cadence élevée, de 180 pas par minutes, favorise une attaque avant-pied ou médio-pied et ainsi une diminution des forces d'impact, tandis qu'une cadence inférieure, 155 pas par minutes environ, qu'adopte la majorité des coureurs amateurs, favorise une attaque arrière-pied et une vitesse de force d'impact élevée. La différence entre ces deux schémas de course réside surtout dans la prise d'appui au sol, qui engendre des paramètres biomécaniques distincts et ainsi des risques de blessures différents [44].

1.4.1.4. Blessure(s) antérieure(s)

Une revue systématique récente a conclu qu'il existe de fortes relations entre une blessure antérieure et le risque de développer une nouvelle blessure en course à pied [56]. Ce facteur de risque est celui qui est le plus retrouvé dans la littérature actuelle.

1.4.1.5. L'expérience

Le niveau d'expérience du coureur semble important à considérer. En effet, selon plusieurs études, une expérience de course élevée diminuerait l'occurrence des blessures, les novices signalant le plus d'RRR [13,14,57,58].

Cela pourrait être lié au fait que les coureurs expérimentés ont une meilleure connaissance de leur corps, donc de leur seuil de blessure. En effet, ces derniers savent instinctivement bien doser leur effort. Ils sont, la plupart du temps, capables de reconnaître une douleur ou une sensation anormale ainsi que la nécessité de se reposer.

Plusieurs coureurs récréatifs ont été interrogés. Ces derniers ont principalement attribué leurs blessures aux caractéristiques de leur entraînement et au dépassement de leurs limites corporelles [59].

De plus, l'importante prévalence de blessures chez les novices peut s'expliquer par le manque d'encadrement. Les pratiques autonomes sont privilégiées par rapport à celles qui s'exercent en club ou autre structure, notamment chez les coureurs novices [3]. Une enquête a été menée à ce sujet. 64% des coureurs inexpérimentés ont avoué être en attente de services d'accompagnement à leur pratique¹³.

Les revues de littérature étudiant le lien de causalité entre la charge d'entraînement et les blessures ou douleurs liées à la course incluent, la plupart du temps, tous les profils de coureurs : novices, compétiteurs, intermédiaires, débutants, récréatifs, haut niveau... L'une d'entre elles a souligné le fait que cela représente un biais [57]. En effet, cette dernière précise que l'expérience des coureurs inclus dans les différentes études peut biaiser les résultats car une expérience de course élevée diminuerait l'occurrence des blessures. C'est pourquoi il serait intéressant d'étudier spécifiquement les coureurs amateurs, novices, récréatifs.

¹³ Florian Gaudin-Wine. Fédération Française d'Athlétisme. Enquête : La course à pied à l'étude [En ligne]. 2014 Apr 30 [cité le 5 Novembre 2022].

1.4.2. Facteurs de risques extrinsèques

1.4.2.1. Equipement

La capacité du coureur à modérer les forces d'impact détermine le stress global sur son corps et secondairement le risque de blessures. Plusieurs études et expérimentations cliniques ont montré que les coureurs ont tendance à modifier inconsciemment la manière dont ils courent selon le type de chaussures et d'orthèses plantaires qu'ils portent. Dans certaines études, les meilleurs comportements de modulation d'impact augmentent à mesure que la chaussure devient minimaliste. D'autres études sont quant à elles plus sceptiques vis-à-vis de l'approche minimaliste et du *barefoot*. Quoiqu'il advienne, l'ensemble des études suggèrent que la chaussure pourrait avoir un impact sur la cinématique du coureur et, par conséquent, sur son risque de développer ou non une blessure [60].

1.4.2.2. Surface

Il est important de prendre en considération la surface sur laquelle le coureur pratique son activité dans la prévention des blessures, car les techniques de course diffèrent d'un sol à l'autre. Inconsciemment, le sportif adapte sa biomécanique en fonction de la dureté, de l'irrégularité du sol et du dénivelé. Cela a pour conséquence l'apparition de différents types de blessures. Certaines études émettent l'hypothèse que courir sur des surfaces naturelles irrégulières permettrait de diminuer l'occurrence des blessures de sur-sollicitation [61].

1.4.2.3. Paramètres de l'entraînement

Si le nombre d'entraînement par semaine est trop faible, le stress appliqué sur les tissus ne sera pas suffisant pour provoquer une adaptation, tandis que si la fréquence est trop élevée, le temps de récupération ne sera pas assez long pour entraîner un remodelage tissulaire bénéfique. Au contraire, si le nombre de séances de course par semaine est optimal, le stress appliqué sera suffisant pour permettre au tissu de renforcer sa structure. Selon les écrits, la fréquence optimale d'entraînement se situerait entre deux et cinq séances par semaine [45].

Des preuves anecdotiques suggèrent que les erreurs d'entraînement, comme une distance ou vitesse excessive, ou encore un changement soudain des routines d'entraînement, sont la cause de 60 à 80 % de toutes les blessures en course à pied [62,63].

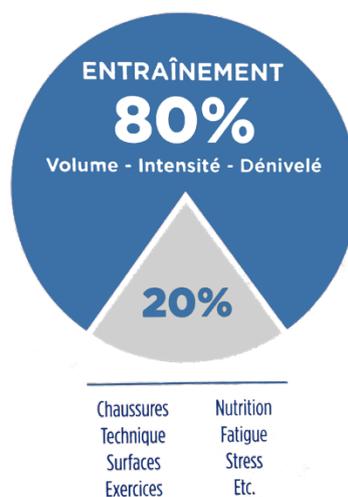


Fig 3 : Causes des blessures en course à pied, 2020, La Clinique Du Coureur

Certains articles s'accordent à dire qu'une mauvaise adaptation de la charge d'entraînement, notamment une augmentation non progressive d'un des paramètres de l'entraînement, représente un risque important de développer une RRI [41]. Les variables prises en compte dans les différentes revues de littérature sur le sujet sont les suivantes : distance parcourue, durée, fréquence, intensité d'entraînement et vitesse de course [57,64,65].

Il existe un dogme selon lequel une charge d'entraînement plus élevée entraîne des taux de blessures amplifiés. Cependant, il existe également des preuves que l'entraînement a un effet protecteur contre les blessures. En effet, il a été démontré que des charges de travail chroniques élevées minimisent le risque [50].

Selon l'Institut National du Sport, de l'Expertise et de la Performance (INSEP), la concurrence internationale, omniprésente dans le sport de haut niveau, amène les athlètes à supporter des charges d'entraînement toujours plus élevées pour progresser. Seulement, si leurs capacités de résilience ne parviennent pas à suivre cette augmentation de charge, les sportifs s'exposent à un risque accru de blessure. C'est pourquoi l'INSEP insiste sur l'importance de quantifier le stress mécanique [66].

Certaines études affirment même que les causes de toutes les blessures de surutilisation pourraient être classées comme des erreurs d'entraînement et que, par conséquent, toutes les blessures de surutilisation devraient être évitables. Cela prouve la nécessité de développer un processus de dépistage simple, qui aiderait les coureurs et médecins à identifier les situations à haut risque de surmenage [67].

Un questionnaire a été réalisé afin de sonder les soignants sur leurs connaissances au sujet de la quantification de la charge d'entraînement. Vingt-deux kinésithérapeutes, en provenance de Paris et Marseille, y ont répondu. Leurs réponses, associées à des graphiques circulaires, sont détaillées en annexe (cf Annexe 1). 50% d'entre eux disent avoir très fréquemment entendu parler de l'importance de la quantification des charges. Le reste des participants n'en a jamais, ou guère entendu parler. De même, près de 91% d'entre eux déclarent ne pas avoir eu de cours dédiés à la quantification des charges durant leur formation en IFMK. Pourtant, 59,1% des kinésithérapeutes évoquent fréquemment l'importance de la gestion des paramètres de l'entraînement dans la prévention des blessures à leurs patients. 22,7% l'évoquent parfois, 9,1% ne le font jamais car ils estiment qu'ils ne sont pas assez informés sur le sujet, ou que cela relève davantage du travail des préparateurs physiques que des soignants. Si la quantification de la charge d'entraînement est responsable de 80% des blessures en course à pied, alors il est possible de penser que les kinésithérapeutes sont insuffisamment informés sur le sujet. Notons tout de même qu'il s'agit d'une idée émergente puisque, malgré le manque de formation en IFMK, beaucoup ont, depuis la fin de leurs études, été renseignés. Les informations qui leurs ont été données sont-elles suffisamment fiables ? Renseignent-ils convenablement leurs patientèles ? Telles sont les questions qu'il faut désormais se poser.

1.4.3. Modificabilité des facteurs de risques

Parmi tous les facteurs de risque précédemment cités, certains sont modifiables, d'autres ne le sont pas. Il est par exemple impossible d'agir sur les antécédents de blessures du coureur. Par conséquent, en raison de son caractère non modifiable, la pertinence de l'inclure comme facteur dans une stratégie d'intervention efficace en prévention des blessures est mineure. À l'inverse, il a été suggéré que se concentrer sur des facteurs plausibles facilement modifiables, tels que la planification de la charge d'entraînement, aurait un impact plus important sur la prévention des lésions. Il est de notre devoir, en tant que professionnel de santé, d'essayer d'agir sur les facteurs modifiables afin d'en limiter les effets potentiellement néfastes sur l'organisme.

1.4.4. Modèles théoriques supposés des blessures les plus courantes

Nous avons précédemment étudié les adaptations des structures musculo-squelettiques à la course à pied. Il est important de savoir que ces adaptations sont variables d'un coureur à l'autre et que, selon les différentes adaptations obtenues suite à un entraînement et leur moment d'apparition, les risques et les types de blessures associés à la course ne seront pas les mêmes.

Les blessures en course à pied sont, pour la plupart, des blessures de sur-sollicitation liées à une adaptation tissulaire insuffisante, souvent causée par un entraînement inadapté.

Les principales blessures musculo-squelettiques liées à la course sont la périostite tibiale, la fracture de stress, la fasciopathie plantaire, le syndrome fémoro-patellaire, la tendinopathie d'Achille et le syndrome de la bandelette ilio-tibiale [10].

1.4.4.1. Périostite tibiale

La périostite est caractérisée par une douleur le long de la frontière postéro-médiale du tibia, à l'exclusion de douleur d'origine ischémique ou de signe de fracture de stress. Son étiologie n'est pas encore reconnue, mais deux hypothèses sont à ce jour évoquées : la première serait une traction fasciale importante au niveau de l'attache musculaire du tibia postérieur, générant une inflammation du périoste tibial. La seconde serait une réaction osseuse au stress que provoquent les impacts répétés générés par la course. Autrement dit, il s'agirait de l'incapacité du périoste à générer un remodelage osseux efficace aux impacts répétés et persistants lors de la pose du pied au sol [68].

1.4.4.2. Fasciopathie plantaire

Le fascia plantaire joue un rôle de soutien pour éviter l'affaissement de la voûte plantaire. Il se tend comme une corde entre le calcaneum et les orteils. Quand le stress qu'on lui impose devient trop important par rapport aux habitudes antérieures, il peut s'irriter et induire une fasciopathie plantaire¹⁴.

1.4.4.3. Syndrome fémoro-patellaire (SDFP)

La patella est un os sésamoïde qui protège le genou lors de traumatismes directs, qui guide l'appareil extenseur en centralisant les forces des quatre chefs du quadriceps pour les transmettre au tendon rotulien lors de l'extension du genou, et qui facilite la distribution des forces compressives au niveau fémoro-patellaire. Les forces appliquées à l'articulation fémoro-patellaire varient selon l'activité, allant de 0,5 fois le poids du corps lors de la marche à 20 fois lors de certaines activités sportives. Lorsque le genou est en extension, la patella est libre, ou seule sa partie distale est en contact avec le fémur, et aucune charge n'est appliquée sur elle. A partir de 30° de flexion, la patella s'engage dans la trochlée fémorale puis, entre 30° et 60°, le contact s'effectue au niveau de sa partie moyenne. Au-delà de 90° de flexion, la charge se répartit sur les facettes patellaires internes et externes [69].

Le SDFP représente 25 à 40% de l'ensemble des problèmes de genou en médecine du sport. Il est caractérisé par une douleur antérieure du genou et résulte d'une compression excessive sur les facettes patellaires [70].

1.4.4.4. Tendinopathie du tendon d'Achille

Le tendon d'Achille permet l'insertion distale des muscles gastrocnémiens et soléaire sur le calcaneum, ce qui lui confère une anatomie complexe. Il est le plus large et le plus puissant des tendons de

¹⁴ Blaise Dubois. KMag. La fasciopathie plantaire [En ligne]. 2020 Nov 28 [cité le 5 Novembre 2022].

l'organisme humain, capable d'encaisser des contraintes répétées extrêmement élevées. Sa vascularisation est toutefois médiocre, l'exposant de ce fait à de nombreuses lésions.

La principale étiologie à l'origine de cette tendinopathie est une surutilisation et/ou une atteinte « dégénérative » tendineuse. En effet, en plus de transmettre les forces générées par les muscles aux os, les tendons absorbent en partie les forces externes pour limiter les lésions musculaires. Ainsi, les microtraumatismes répétés pendant une activité physique vigoureuse sont considérés comme la principale cause de dégénérescence tendineuse [71].

1.4.4.5. Syndrome de la bandelette ilio-tibiale

On sait aujourd'hui que la symptomatologie du syndrome de la bandelette ilio-tibiale est liée à une inflammation, qui trouve son origine dans la gestuelle répétitive de la course à pied. C'est pourquoi les coureurs de fond sont particulièrement touchés par cette pathologie [72,73].

1.4.4.6. Fractures de stress

Les efforts sportifs excessifs qualitativement et/ou quantitativement exposent à l'apparition de microlésions pouvant provoquer des microfissures et l'apparition progressive d'une fracture de fatigue par désadaptation de l'organisme.

La pratique de la course à pied sur sol dur et sur de longues distances, associée à un chaussage inadapté, provoquent une onde de choc favorisant l'apparition d'une fracture de fatigue. La diffusion des ondes de choc le long du corps est corrélée exponentiellement à la vitesse de course¹⁵.

1.5. Prise en charge du coureur

1.5.1. La quantification de la charge d'entraînement : une idée émergente

Bien que les études dédiées à la relation entre le risque de blessures liées à la course et la quantification de la charge d'entraînement soient à ce jour insuffisantes, cette dernière est d'ores et déjà utilisée par les entraîneurs et préparateurs physiques ainsi que par quelques professionnels de la santé. Certains tendent même à élaborer des règles de progression dans l'entraînement afin de prévenir les risques de blessures chez les coureurs. 10% d'augmentation du volume hebdomadaire d'entraînement a été le concept le plus véhiculé ces dernières décennies, sans réelle preuve scientifique associée.

En février 2016, une conférence réunissant des experts du monde entier « Surveillance des charges d'entraînement des athlètes : le comment et le pourquoi » a été organisée au Qatar. Les entraîneurs, chercheurs et professionnels de la santé s'intéressent de plus en plus à la planification de l'entraînement et ses conséquences sur la santé du sportif.

De même, plusieurs études se sont intéressées à la quantification de la charge d'entraînement comme méthode thérapeutique et ont conclu qu'une éducation appropriée sur la gestion des charges devrait être incluse comme élément principal du traitement des coureurs blessés (76).

La Clinique Du Coureur propose des programmes progressifs d'entraînement pour les coureurs à pied évoluant sur route ainsi que pour les pratiquants de trail. Ces programmes sont basés sur des objectifs spécifiques : courir 5 kilomètres, en 25 minutes, en 14 semaines, par exemple. Ce même organisme

¹⁵ Dr. Patrick Bacquaert, Dr. Frédéric Maton. KMag. Fracture de fatigue, fracture de stress [En ligne]. 2021 May 3 [cité le 5 Novembre 2022].

propose des programmes spécifiques à la reprise de la course à pied post-blessure en insistant sur l'importance de la progressivité¹⁶.

1.5.2. Le rôle des kinésithérapeutes dans la prévention

Selon le code de déontologie, le masseur-kinésithérapeute doit participer à l'éducation sanitaire ainsi qu'à la protection de la santé¹⁷. La prévention est dans le décret de compétences des kinésithérapeutes : « *La masso-kinésithérapie consiste en des actes réalisés de façon manuelle ou instrumentale, notamment à des fins de rééducation, qui ont pour but de prévenir l'altération des capacités fonctionnelles, de concourir à leur maintien et, lorsqu'elles sont altérées, de les rétablir ou d'y suppléer.* » [74].

De plus, le masseur-kinésithérapeute est habilité à intervenir dans le domaine du sport, de la prévention et de la remise en forme¹⁸. Il peut donc participer à la prévention primaire dans divers milieux, dont le milieu sportif. Il peut aussi dispenser des conseils en matière de prévention secondaire, ces derniers faisant souvent suite à des soins de masso-kinésithérapie.

Le kinésithérapeute est habilité à dispenser des actes de prévention sans prescription médicale. Pourtant, selon la Fédération Française des Masseurs-Kinésithérapeutes Rééducateurs (FFMKR), les rôles de prévention et d'éducation à la santé sont insuffisamment utilisés à ce jour¹⁹.

1.5.3. Problématisation

L'objectif principal de ce mémoire est d'affirmer ou d'infirmer l'hypothèse selon laquelle une mauvaise planification de l'entraînement est associée à la survenue de blessures musculo-squelettiques ou de douleurs dans les membres inférieurs ou le dos chez le coureur amateur. Autrement dit, nous souhaitons observer si une corrélation existe entre les paramètres de l'entraînement et le risque de développer des blessures et/ou douleurs liées à la course.

Il est particulièrement intéressant d'étudier cette corrélation, compte tenu de la popularité croissante pour la course à pied et du risque important de blessures chez les coureurs novices, qui ont pour conséquences : des coûts pour le système de soins, une diminution des performances sportives ainsi qu'une altération de l'état de santé.

Si l'hypothèse est confirmée, cela pourrait permettre de mettre en place davantage de mesures préventives au sein des cabinets de kinésithérapie et d'inclure de manière systématique la quantification du stress mécanique dans la prise en charge d'un coureur.

¹⁶ La Clinique Du Coureur. Programmes d'entraînement - Course à pied [En ligne]. 2022 [cité le 14 Novembre 2022].

¹⁷ Ordre des Masseurs-Kinésithérapeutes. R. 4321-63 Concours apporté à la protection de la santé et à l'éducation sanitaire [En ligne]. 2022 [cité le 14 Novembre 2022].

¹⁸ Ministère de la Santé et de la Prévention. Les fiches-métiers : Masseur-kinésithérapeute [En ligne]. [cité le 14 Novembre 2022].

¹⁹ FFMKR. Prévention : LE KINESITHERAPEUTE PREVENTEUR « Prévenir, c'est guérir » [En ligne]. [cité le 14 Novembre 2022].

2. Méthode

Le travail de recherche suivant se présente sous la forme d'une revue systématique comportant une méta-analyse. La PRISMA checklist a été utilisée pour sa rédaction (cf. Annexe 2).

Le protocole de recherche de cette revue de littérature a été validé en décembre 2022, par le directeur de mémoire. Il n'a pas été enregistré, ni défini de manière immuable. Ainsi, il a pu être modifié à plusieurs reprises.

2.1. Critères d'éligibilité des études

2.1.1. Schémas d'études

La problématique évoquée précédemment repose sur une question étiologique. Elle évoque en effet une potentielle association entre la quantification de la charge d'entraînement et les blessures et/ou douleurs liées à la course à pied. Le but est d'identifier si un lien de causalité existe entre ces deux éléments. Si l'association s'avère positive, la finalité serait d'agir sur la cause afin de diminuer l'occurrence des conséquences néfastes produites. Le sujet porte sur un phénomène relativement fréquent et contrôlable.

Ainsi, seuls les essais cliniques randomisés et cohortes prospectives, schémas d'étude préférentiels pour ce type de questionnement, ont été inclus dans cette revue.

Pour rappel, un essai clinique randomisé est une étude expérimentale dans laquelle une intervention est comparée à une autre, à une absence d'intervention ou à un placebo.

Une étude de cohorte représente quant à elle le suivi d'individus dans le temps. Elle consiste à observer la survenue d'une pathologie ou d'un événement chez les participants, définis en fonction de leur exposition à un facteur présumé causal pour cette pathologie.

2.1.2. Population

Les études incluses concernent uniquement des coureurs adultes. Le choix d'exclure les enfants a été effectué car ces derniers pratiquent généralement une activité sportive encadrée. De même, exclure les personnes âgées, c'est-à-dire les adultes de plus de 65 ans selon l'OMS, a été souhaité afin d'éliminer la survenue de potentiels douleurs et blessures qui ne seraient pas en lien avec la quantification de la charge d'entraînement mais plutôt avec d'autres pathologies dégénératives associées telles que l'arthrose. Cependant, cela n'a pas été réalisable car très peu d'études ne restreignaient leur population de la sorte.

Etant les plus à risques de blessures, seules les études portant sur les coureurs récréatifs, amateurs, novices et/ou inexpérimentés sont incluses dans cette revue.

2.1.3. Intervention et comparateur

L'intervention recherchée est l'application d'un programme de course à pied prenant en considération la quantification de la charge d'entraînement, c'est-à-dire les différents paramètres tels que le volume horaire, la fréquence, la durée d'entraînement ou encore l'intensité.

Le comparateur est l'absence du facteur d'exposition évalué, c'est-à-dire une quantification de la charge d'entraînement inadaptée, inexistante ou différente.

2.1.4. Critères de jugement

Les critères de jugement sont l'apparition d'une blessure musculo-squelettique ou d'une douleur, liée à la course, dans les membres inférieurs ou le dos.

2.2. Méthodologie de la recherche des études

2.2.1. Bases de données investiguées

Les bases de données suivantes ont été investiguées le 14 Novembre 2022 : **PubMed**, **Cochrane Library**, **PEdro**. Ces dernières ont été choisies car il s'agit des bases de données gratuites les plus pertinentes pour répondre à une question de recherche étiologique, compte tenu des schémas d'études attendus.

- ❖ Pubmed est un moteur de recherche gratuit spécialisé en sciences médicales et biomédicales. Il permet l'accès à la base de données bibliographiques Medline. Il compte à ce jour plus de 30 millions de citations ainsi que des revues et livres en ligne. Les citations permettent d'accéder à un article intégralement, lorsque ce dernier est disponible.
- ❖ Pedro est une base de données de physiothérapie fondée sur les preuves. Elle regroupe plus de 46 000 essais cliniques randomisés, revues de littérature et recommandations de pratique clinique. Des notes de qualité sont attribuées aux essais cliniques randomisés, permettant ainsi de donner un aperçu de leur validité.
- ❖ Cochrane Library est une bibliothèque intégrant plusieurs bases de données dans le domaine des sciences médicales. Elle comprend plus de 7 000 revues et près de 2 000 protocoles d'études.

Des investigations ont également été effectuées par utilisation de l'option « recherche avancée » disponible sur **Google Scholar**, service de Google permettant la recherche d'articles et de publications scientifiques, qui inventorie des articles approuvés ou non par des comités de lecture, des thèses universitaires, des citations et des livres scientifiques.

Des recherches dans la littérature grise, sur la base de données **DUMAS**, ainsi que la lecture de protocoles d'essais cliniques, sur la base de données **ClinicalTrials.gov**, ont permis d'apporter des connaissances supplémentaires sur le sujet.

Des experts ont été contactés, sans succès, via **ResearchGate**, site proposant un service de réseautage social pour chercheurs et scientifiques, toutes disciplines confondues.

Finalement, des recherches complémentaires ont été conduites par lecture des bibliographies de revues de littérature traitant d'ores et déjà du sujet.

2.2.2. Equations de recherche utilisées

L'équation de recherche, conçue spécifiquement pour chaque base de données, a systématiquement inclus les mots et concepts clés issus de la question de recherche ainsi que leurs synonymes respectifs, traduits en anglais.

- ❖ Mots clés relatifs à la **quantification de la charge d'entraînement** : overtraining, training load, training characteristics, training parameters, training workloads, graded training program, acute:chronic workload ratio, training-related factors, progression in training, training intensity, training volume, running pace, running distance.
- ❖ Mots clés relatifs aux **critères de jugement étudiés** : running-related injuries, running injuries, running-related pain, overuse running injuries.

La localisation du site de lésion souhaitée (membres inférieurs et dos) ainsi que le niveau du coureur n'ont volontairement pas été précisés afin de réduire le silence qu'auraient engendrées ces différentes distinctions. De même, le choix de regrouper les termes concernant le sport et le critère de jugement étudiés a été fait dans le but de réduire le bruit important qu'occasionnent les mots clés "running", "run" et "runner".

Aucune restriction de date ni de lieu n'a été imposée dans le but d'obtenir la revue la plus exhaustive possible.

Moteur	Equation de recherche	Filtre
PubMed	<p>overtraining OR training load OR training characteristics OR training parameters OR training workloads OR graded training program OR acute:chronic workload ratio OR training-related factors OR progression in training OR training intensity OR training volume OR running pace OR running distance</p> <p style="text-align: center;">AND</p> <p>running-related injuries OR running injuries OR running-related pain OR overuse running injuries</p>	Species : "Humans"
PE德罗	Abstract & Title : training running injuries	Method : "clinical trial" When Searching : (AND)
Cochrane Library	<p>(Overtraining OR training load OR training characteristics OR training parameters OR training workloads OR graded training program OR acute:chronic workload ratio OR training-related factors OR progression in training OR training intensity OR training volume OR running pace OR running distance)</p> <p style="text-align: center;">AND</p> <p>(running-related injuries OR running injuries OR running-related pain OR overuse running injuries)</p>	Title Abstract Keyword Trials

<p>Google Scholar</p>	<p>→ Tous les mots suivants : running training injuries → Au moins un des mots suivants : overtraining workload characteristics parameters program pace distance volume intensity progression</p>	<p>Dans le titre de l'article</p>
------------------------------	--	-----------------------------------

Tab 2 : Equations de recherche

2.3. Méthode d'extraction et d'analyse des données

2.3.1. Méthode de sélection des études

La sélection des articles a été réalisée par une seule personne, trois fois pour chaque base de données, afin de minimiser les oublis et les potentielles erreurs. Cette sélection a été effectuée selon plusieurs étapes successives, présentées ci-dessous.

→ **Etape 1** : Investigation des bases de données selon l'équation de recherche formulée.

→ **Etape 2** : Sélection des articles par lecture du titre, permettant l'exclusion de ceux ne traitant pas du sujet de la revue. Si une incertitude existait, l'article en question était tout de même sélectionné, le but étant de ne passer à côté d'aucun article susceptible d'être pertinent.

→ **Etape 3** : Une seconde sélection a été conduite par lecture des résumés. Les motifs d'exclusion étaient multiples :

- Schéma d'étude non souhaité : études secondaires, transversales, cas/témoins, rétrospectives...
- Etudes ne traitant pas exactement du sujet recherché
- Population étudiée n'entrant pas dans la catégorie d'âge souhaitée, autrement dit toutes les études concernant les enfants
- Population étudiée ne correspondant pas au niveau de course recherché, autrement dit toutes les études portant sur les coureurs élités, compétitifs et les athlètes professionnels

Les articles sélectionnés, issus des différentes bases de recherche investiguées, ont été regroupés. Lorsqu'ils étaient présents, les doublons ont fait l'objet d'une exclusion.

→ **Etape 4** : Sélection des études par lecture intégrale des articles.

→ **Etape 5** : Inclusion finale des études pertinentes par exclusion de celles ne permettant pas une analyse qualitative ou quantitative correcte. Les études incluses ont été stockées grâce au logiciel de gestion **Mendeley Desktop**.

En conclusion, ces différentes étapes ont permis d'inclure uniquement les études correspondant aux critères précédemment établis. Ces dernières ont été schématisées par un diagramme de flux qui sera présenté ultérieurement dans la partie « Résultats ».

2.3.2. Extraction des données

L'extraction des données a été réalisée par une seule personne, trois fois, par lecture intégrale des études incluses. Ces données seront exposées dans la partie « Résultats ». Une présentation générale

des études sera préalablement réalisée : auteur, date de publication, schéma d'étude, durée de suivi, exposition, ou intervention et comparateur lorsqu'ils sont présents, critère(s) de jugement étudié(s). Secondairement, plusieurs tableaux récapitulatifs seront à la disposition du lecteur : le premier présentera les caractéristiques précises des populations incluses, le second exposera les programmes d'entraînement proposés dans chacune des études, le troisième les paramètres d'entraînement étudiés. Enfin, un tableau introduira les différentes définitions des blessures et douleurs liées à la course ainsi que les manières de les diagnostiquer.

2.3.3. Evaluation de la qualité méthodologique des études sélectionnées

Il est important d'évaluer le risque de biais que présente une étude [75]. En effet, un biais représente une erreur de méthodologie qui dévie potentiellement le résultat final, rendant ce dernier inexploitable. Il existe différents types de biais. Parmi ces derniers, voici les principaux qu'il est possible de rencontrer dans un essai clinique randomisé ou dans une cohorte prospective :

- **Biais de sélection** : présent lorsque les deux groupes d'un essai ne sont pas comparables ou lorsque l'échantillon, composé des personnes recrutées, ne respecte pas les critères d'inclusion et d'exclusion définis préalablement. De ce fait, les personnes interrogées ne peuvent pas être représentatives de la population ciblée.
- **Biais de randomisation** : la répartition des patients dans les groupes doit être aléatoire. La probabilité d'être alloué au groupe recevant le traitement étudié doit être la même pour tous les individus.
- **Biais de suivi** : présent lorsque l'échantillon final diffère de l'échantillon initial. Les études de cohortes sont particulièrement touchées par ce risque puisqu'il est courant d'observer des participants perdus de vue sur des études de longue durée.
- **Biais de rappel** : il traduit la façon dont les souvenirs sont altérés. La difficulté de se souvenir de situations ou d'expériences peut conduire à des conclusions erronées, surtout lorsque la collecte des données est effectuée sous forme d'auto-rapport.
- **Biais lié à l'absence de réponse** : les personnes ne répondant pas à une étude sont vraisemblablement différentes de celles qui y participent. C'est pourquoi elles doivent être comparées aux participants en ce qui concerne l'exposition et les variables de résultat. Le biais lié à l'absence de réponse est fréquent dans tous les types d'études mais il a plus d'incidences dans les études observationnelles. Une façon de minimiser ce biais dans les enquêtes est d'assurer un taux de réponse maximal. Dans les essais contrôlés randomisés, il est possible de collecter des informations sur des facteurs associés, qui peuvent renseigner sur le degré de gravité du problème, grâce à une collecte préalable d'informations.
- **Mesure des facteurs pronostiques** : les facteurs pronostiques doivent être évalués de la même façon et de manière adéquate chez tous les participants. Une définition claire doit être fournie et leur mesure doit être suffisamment fiable et valide pour limiter le risque de biais.
- **Mesure du facteur de risque et du critère de jugement** : il est impératif de savoir si ces deux variables sont mesurées de la même manière chez l'ensemble des participants. De même, il est impératif de définir clairement les méthodes et critères de jugement employés.
- **Biais d'évaluation** : les thérapeutes et examinateurs d'un essai contrôlé randomisé doivent être en aveugle afin de rester objectifs.

- **Biais de confusion** : les potentiels facteurs de confusion doivent être pris en considération dans l'analyse d'une association, sinon un risque de confusion subsiste. Pour cela différentes méthodes existent :

- ❖ Restriction de population : consiste à établir des critères d'inclusion et d'exclusion précis en vue d'ôter plusieurs variables parasites avant d'admettre les sujets dans l'étude.
- ❖ Appariement : consiste à imposer des contraintes dans la sélection des groupes à comparer, si bien que le groupe à étudier et le groupe de comparaison ont des distributions similaires de la variable de confusion potentielle.
- ❖ Ajustement statistique : implique le recours à des méthodes statistiques sophistiquées dans l'analyse, telles que la régression linéaire multiple ou la régression logistique.
- ❖ Stratification : consiste à restreindre l'analyse, plutôt que le plan d'échantillonnage, à des domaines étroits, autrement appelés strates.

Les critères de Bradford Hill peuvent également être utilisés. Il s'agit d'un groupe de conditions minimales pour fournir une preuve adéquate d'une relation causale entre deux événements.

- **Biais d'analyse ou rapport des résultats** : si plusieurs facteurs de risque sont étudiés, les chiffres concernant tous ces facteurs doivent apparaître dans les résultats finaux. De même, les données doivent être analysées impartialement et de manière appropriée.

L'évaluation du risque de biais a été effectuée par une seule personne, à trois reprises non consécutives.

Les biais éventuels ont été détectés par l'intermédiaire de la grille **QUIPS** pour les études de **cohorte** incluses. Le résultat obtenu, pour chacune d'entre elles, sera présenté dans la partie « Résultats ».

L'échelle QUIPS a été conçue pour apprécier la validité interne des études de facteurs pronostiques, notamment des études de cohorte. Elle comporte six catégories distinctes : participants, suivi et attribution, mesure du facteur pronostique, mesure du critère de jugement, variables de confusion, analyses statistiques et rapport des résultats. Pour chaque catégorie la mention « risque élevé », « risque modéré » ou « risque faible » est attribuée.

L'évaluation du risque de biais a été effectuée par l'intermédiaire de l'échelle **PEDRO** pour les **essais cliniques randomisés** inclus. Le score obtenu, pour chacune des études, sera présenté sous forme de tableau dans la partie « Résultats ».

L'échelle PEDRO est composée de onze items, qui ont pour but l'évaluation de la pertinence clinique d'un essai contrôlé randomisé. Le score obtenu est compris entre zéro et dix. Plus le résultat est proche de dix, plus l'article présente une qualité méthodologique élevée.

2.3.4. Méthode de synthèse des résultats

La synthèse des résultats a été effectuée séparément pour les cohortes et les essais cliniques randomisés.

Nous avons trouvé pertinent de décrire distinctement les critères de jugement pour chaque paramètre de l'entraînement. Ainsi, la corrélation entre l'apparition d'une blessure et/ou d'une douleur a été observée en fonction des différents paramètres de l'entraînement considérés : intensité, fréquence, durée, vitesse, distance.

Une synthèse des résultats sous forme de tableaux, étude par étude, a été réalisée.

L'interprétation des résultats a été faite à l'aide de l'analyse des rapports de risque (HR) et des rapports des cotes (OR) présentés dans les différentes études. En effet, ces derniers sont fréquemment utilisés dans les études de causalité comme indicateurs de force d'association entre une exposition et un événement de santé. Autrement dit, ils permettent de quantifier l'association ou l'absence d'association. Pour rappel, le rapport des cotes (OR) est un nombre compris entre 0 et l'infini, qui s'interprète de la manière suivante :

- **OR < 1** : la variable indépendante diminue la probabilité d'apparition de la variable dépendante
- **OR = 1** : pas d'effet de la variable indépendante sur la variable dépendante
- **OR > 1** : la variable indépendante augmente la probabilité d'apparition de la variable dépendante

Le rapport des risques (HR) se définit quant à lui comme le rapport entre le risque instantané chez les exposés et le risque instantané chez les non exposés. Il peut être interprété comme un risque relatif, dont il est souvent proche numériquement :

- **HR < 1** : le groupe de traitement connaît une probabilité d'événement plus faible, pendant une unité de temps, que le groupe témoin.
- **HR = 1** : les deux groupes connaissent le même nombre d'événements au cours d'une période donnée.
- **HR > 1** : le groupe de traitement connaît une probabilité d'événement plus élevée, pendant une unité de temps, que le groupe témoin.

La force et le sens d'une association peuvent également être exprimés sous forme de coefficients de corrélation. Ces derniers varient de -1 à +1 et s'interprètent comme suit :

- Plus le coefficient est **proche de 1**, plus la relation linéaire positive entre les variables est forte.
- Plus le coefficient est **proche de 0**, plus la relation linéaire entre les variables est faible.
- Plus le coefficient est **proche de -1**, plus la relation linéaire négative entre les variables est forte.

Le recueil des données a permis d'objectiver l'ampleur des associations. Pour cela, le tableau présenté à la page suivante, tiré d'un article relatif aux tailles d'effet, a été utilisé [76].

Index	Description ^b	Effect Size	Comments
Between groups			
Cohen's d^a	$d = M_1 - M_2 / s$ $M_1 - M_2$ is the difference between the group means (M); s is the standard deviation of either group	Small 0.2 Medium 0.5 Large 0.8 Very large 1.3	Can be used at planning stage to find the sample size required for sufficient power for your study
Odds ratio (OR)	Group 1 odds of outcome Group 2 odds of outcome If OR = 1, the odds of outcome are equally likely in both groups	Small 1.5 Medium 2 Large 3	For binary outcome variables Compares odds of outcome occurring from one intervention vs another
Relative risk or risk ratio (RR)	Ratio of probability of outcome in group 1 vs group 2; If RR = 1, the outcome is equally probable in both groups	Small 2 Medium 3 Large 4	Compares probabilities of outcome occurring from one intervention to another
Measures of association			
Pearson's r correlation	Range, -1 to 1	Small ± 0.2 Medium ± 0.5 Large ± 0.8	Measures the degree of linear relationship between two quantitative variables
r^2 coefficient of determination	Range, 0 to 1; Usually expressed as percent	Small 0.04 Medium 0.25 Large 0.64	Proportion of variance in one variable explained by the other

^a Adapted from Ferguson et al.⁹
^b Based on Soper.⁷

Tab 3 : Interprétation numérique des tailles d'effet, 2012, Sullivan G, Feinn R

L'incertitude des estimations a été quantifiée par des intervalles de confiance.

La signification statistique a été évaluée sur la base de la valeur p, qui permet d'estimer la probabilité que la différence observée soit liée au hasard ou non. Un résultat présenté avec une valeur $p < 0,05$ a été considéré comme **statistiquement significatif**, tandis qu'un résultat présenté avec une valeur $p > 0,05$ a été considéré comme **statistiquement non significatif** dans la plupart des études. La valeur 0,05 est en effet celle qui est la plus couramment utilisée en recherche.

Les résultats ont été présentés avec un niveau de preuve, c'est-à-dire associés aux risques de biais des études incluses, qui constituent leur validité interne, à l'hétérogénéité des résultats finaux, ainsi qu'à la précision des résultats obtenus.

La synthèse finale des résultats a été effectuée sous forme de méta-analyse à effet aléatoire, par combinaison statistique des données extraites. Une méta-analyse a été conduite pour chaque variable distinctement. Les conclusions ont été regroupées en réponses numériques exprimées visuellement sous forme de graphiques en forêt. Ces derniers ont été réalisés sur Microsoft Excel version 2303 16.0, à partir de feuilles de calcul dans lesquelles étaient retranscrites les informations suivantes : nom de l'étude, taille d'effet exprimée en rapport des cotes, rapport des risques ou risque relatif, limites inférieure et supérieure des intervalles de confiance.

L'hétérogénéité clinique des études incluses a été évaluée par examen des protocoles et des populations. L'hétérogénéité statistique a quant à elle été recherchée sur le *forest plot* ainsi que par l'utilisation du test statistique I^2 dont voici l'interprétation :

- $I^2 < 0,25$: hétérogénéité faible
- $0,25 < I^2 < 0,5$: hétérogénéité modérée
- $I^2 > 0,5$: hétérogénéité importante

L'exploration de l'hétérogénéité constatée a été envisagée par l'intermédiaire d'une méta-régression, qui n'a malheureusement pas pu être réalisée en raison de la variabilité des données et de la complexité du modèle de risques en présence.

De même, la robustesse des résultats synthétisés n'a pas pu être vérifiée par l'intermédiaire d'analyses de sensibilité supplémentaires.

Le système GRADE (*Grades of Recommendations, Assessment, Development & Evaluation*) a été utilisé, permettant de qualifier le niveau de preuve du résultat final. Cela est en effet indispensable à la conception d'une conclusion de qualité. En effet, plus le niveau de preuve est élevé, plus il est possible d'avoir confiance en le résultat énoncé. De cette manière il est possible d'émettre des recommandations pertinentes.

Pour clôturer ce travail, une auto-évaluation du risque de biais de ce mémoire sera présentée, par utilisation de la grille AMSTAR 2, dans la partie « Discussion ». Cette dernière comprend seize items portant sur l'objectif de la revue, la stratégie de recherche documentaire, le processus de sélection des études, les caractéristiques des études retenues, l'évaluation de la qualité des études ainsi que la méthodologie employée pour la synthèse des résultats.

3. Résultats

3.1. Description des études incluses

3.1.1. Processus de sélection

Par le biais des équations de recherche formulées dans la partie « Méthodologie », plusieurs études ont été incluses dans la revue présente. Ces dernières ont été sélectionnées le 14 Novembre 2022. Le processus de sélection est présenté ci-dessous.

- ❖ **Identification via les bases de données** : 337 articles ont été identifiés sur la base de données PubMed, 38 sur PEDro, 457 sur Cochrane et 12 via Google Scholar. En tout, 844 articles ont ainsi été identifiés.
- ❖ **Première sélection par lecture du titre** des articles : 748 des 844 articles identifiés ont été exclus pour les raisons suivantes :
 - Doublons (n=127)
 - Schéma d'étude inapproprié (n=159)
 - Article ne traitant pas exactement du sujet souhaité (n=462)
- ❖ **Sélection par lecture des résumés** : 83 des 96 articles restant ont été exclus pour les raisons suivantes :
 - Schéma d'étude inapproprié (n=23)
 - Population ne répondant pas aux critères d'inclusion exigés (n=13)
 - Article ne traitant pas exactement du sujet souhaité (n=47)
- ❖ **Admission sur la base de la lecture intégrale** des articles : sur les 13 articles restant, seuls 9 ont été admis. Les raisons d'exclusion étaient les suivantes :
 - Population ne répondant pas aux critères d'inclusion requis (n=3)
 - Sujet inexact (n=1)
- ❖ **Inclusion au sein de l'analyse qualitative** : 13 articles ont été inclus dans l'analyse qualitative. 9 ont été identifiés via les bases de données précédemment énoncées, tandis que 4 autres ont été identifiés par la lecture des bibliographies de revues de littérature traitant d'ores et déjà le sujet [41,57,64,65].
- ❖ **Inclusion au sein de l'analyse quantitative** : Finalement, 11 études ont été incluses dans la méta-analyse. 2 études ont fait l'objet d'une exclusion en raison d'un manque d'informations.

Les étapes du processus de sélection sont synthétisées à la page suivante par un diagramme de flux.

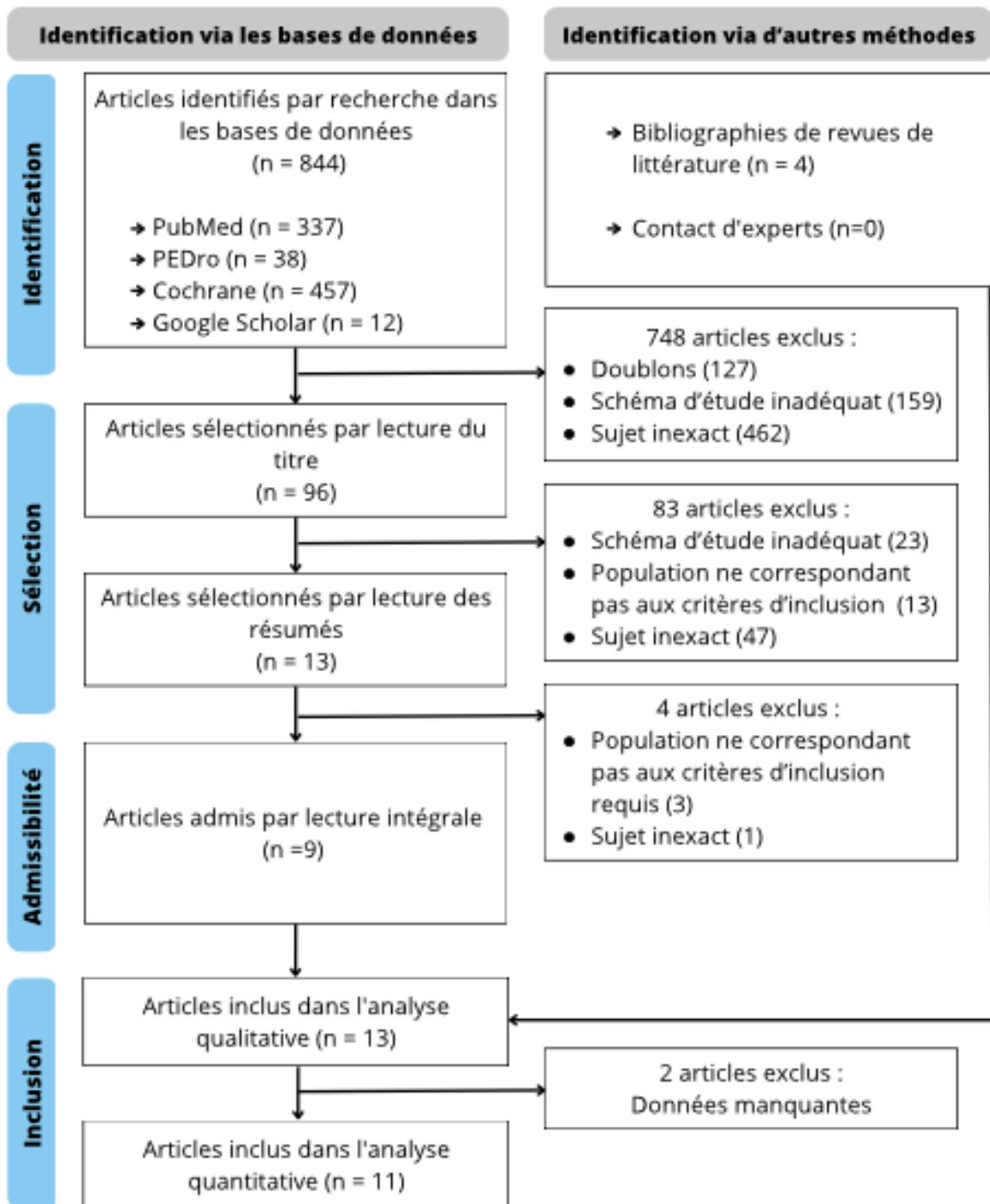


Fig 4 : Diagramme de flux

3.1.2. Etudes exclues après lecture complète

Les motifs d'exclusion des quatre articles exclus après leur lecture complète sont retranscrits dans le tableau suivant.

Etude	Motif d'exclusion
Nielsen RØ et al. (2019) [77]	Population étudiée : tous types de coureurs incluant les coureurs élités, récréatifs et novices, avec diverses années d'expérience en course à pied.
Van der Worp MP et al. (2016) [78]	Population étudiée : femmes adultes inscrites à un événement de course à pied, incluant supposément tous les niveaux de course.
Wang J et al. (2020) [79]	Sujet inexact : vingt-quatre coureurs récréatifs masculins en bonne santé ont été randomisés dans un groupe de réentraînement de la cadence de 12 semaines ou dans un groupe témoin. La cinématique et les forces de réaction au sol ont été enregistrées afin de quantifier les variables de force d'impact.
Damsted C et al. (2018) [80]	Population étudiée : Coureurs de différents niveaux.

Tab 4 : Motifs d'exclusion des études après leur lecture complète

3.1.3. Présentation des études incluses

Au total, deux essais cliniques randomisés et onze études de cohortes prospectives ont été inclus dans cette revue :

- Kluitenberg B et al, 2015 [81]
- Hespanhol Junior LC et al, 2013 [82]
- Nielsen RO et al, 2013 [83]
- Bovens AM et al, 1989 [84]
- Nielsen RO et al, 2014 [85]
- Van Poppel D et al, 2018 [86]
- Van Middelkoop M et al, 2007 [87]
- Taunton J et al, 2003 [88]
- Buist I et al, 2008 [89]
- Dallinga J et al, 2019 [90]
- Malisoux L et al, 2014 [91]
- Ramskov D et al, 2018 [92]
- Buist I et al, 2008 [93]

Tous les articles ont été rédigés en anglais et ont été publiés entre 1989 et 2019. Les études incluses présentent des durées de suivie variables, allant d'un à vingt mois.

La grande majorité des études reporte un consentement éclairé des patients ainsi que l'approbation des protocoles d'étude par un comité d'éthique de protection de la personne. Trois d'entre elles ne mentionnent pas ces caractères [84,87,88].

Les critères d'inclusion et d'exclusion des participants diffèrent pour chacune des études. Vous trouverez, dans le tableau ci-dessous, les caractéristiques précises des populations incluses pour chacune d'entre elles.

Cohorte	Echantillon	Genre	IMC	Age (moy*)	Niveau course	Blessure antérieure
Kluitenberg, 2015	n=1696	78,5% ♀	Moy*=25,5	18-65 (43,3)	Novices	Oui (33,6%)
Hespanhol, 2013	n=191	26% ♀	Moy=24,4	≥18 (42,8)	Récrétatifs	Oui (53%) Tous sans blessure au début du suivi
Nielsen, 2013	n=58	48,2% ♀	Moy=25,4	18-65 (39,8)	Novices	Oui (19%) Tous sans blessure des MI▼ < 3 mois
Bovens, 1989	n=115	27,8% ♀	-	>20 (35,2)	Peu ou pas expérimentés	Tous sans blessure persistante
Nielsen, 2014	n= 873	49,5% ♀	Moy=26,1	18-65 (37,2)	Novices	Oui (17,9%)
Van Poppel, 2018	n=3768	39,8% ♀	Moy=23,4	>18 (42,8)	Récrétatifs	Oui < 12 mois (52,2%)
Van Middelkoop, 2007	n=726	0% ♀	Moy=23,5	>18 (43,8)	Récrétatifs	Oui < 12 mois (54,2%)
Taunton, 2003	n=840	75,6% ♀	<19 : n=29 20-26 : n=556 >26 : n=190	<30 : n=141 31-49 : n=502 50-55 : n=111 >56 : n=74	Récrétatifs, novices et intermédiaires	-
Buist, 2008	n=629	67% ♀	Moy=24,9	≥18 (43,7)	Novices et récréatifs	Oui < 1 an (29,6%) Oui > 1 an (33,9%)
Dallinga, 2019	n=678	48,8% ♀	Moy=23,7	≥18 (43,9)	Récrétatifs	Oui < 12 mois (31,7%)
Malisoux, 2014	n=517	35% ♀	<25 : 71,2% ≥25 : 28,8%	>18 (42,2)	Récrétatifs	Oui (39,1%) Tous sans blessure à l'inclusion
ECR	Echantillon	Genre	IMC moyen	Age (moy)	Niveau course	Blessure antérieure
Ramskov, 2018	n=839 n(I ♦)=419 n(V *)=420	62% ♀	Groupe I=24,1 Groupe V=24,2	18-65 (39,1)	Récrétatifs	Oui (I=55% / V=54%) Tous sans blessure < 6mois
Buist, 2008	n=532 n(G ◀)=264 n(S ♦)=268	57,5% ♀	Groupe G=25,2 Groupe S=24,6	18-65 G(40,4) S(39,2)	Novices	Oui 3-12mois (25,4%) Oui > 12mois (26,1%) Tous sans blessure des MI < 3mois

*Moy=moyenne / ▼MI= membres inférieurs / I ♦=groupe intensité / V *groupe volume / G ◀groupe d'entraînement gradué / S ♦= Groupe standard

Tab 5 : Caractéristiques des participants

L'exposition est elle aussi variable, certaines études proposaient des programmes d'entraînement spécifiques, que les coureurs devaient suivre assidûment, tandis que d'autres laissaient la possibilité aux participants de courir librement. Vous trouverez ci-dessous le détail des programmes proposés.

Cohorte	Programme de course
Kluitenberg, 2015	L'objectif était de permettre aux participants de réaliser une course de 20 à 99 minutes sans pause, en 6 semaines . Le programme conseillait de courir deux à trois fois par semaine, dont une fois supervisée par un entraîneur d'athlétisme agréé. Les autres séances devaient être effectuées individuellement en suivant un programme. Il était conseillé de commencer chaque séance par un échauffement et de terminer par une récupération d'environ 15 minutes.
Hespanhol, 2013	Programme de course libre sur 12 semaines .
Nielsen, 2013	Programme de course libre sur 10 semaines .
Bovens, 1989	La période d'étude était composée de trois phases, se terminant chacune par une course (15, 25 et 42km). En moyenne, les trois phases ont duré 28, 23 et 30 semaines . Chaque phase comprenait une préparation générale (fréquence de course : 3-4 fois/semaine) et un programme plus spécifique pendant 6 semaines. Chaque semaine, une séance était supervisée

	par un entraîneur. Les volontaires ont reçu une prescription d'entraînement pour le reste du temps. La méthode d'entraînement comprenait trois éléments : endurance, à 70-80% de la Fcmax, course à grande vitesse, à 80-95% de la Fcmax, entraînement par intervalles, à 95-100% de la Fcmax.
Nielsen, 2014	Programme de course libre sur 1 an .
Van Poppel, 2018	Programme de course libre sur 1 an .
Van Middelkoop, 2007	Programme de course libre sur 1 mois .
Taunton, 2003	Deux protocoles de 13 semaines ont été conçus par des médecins du sport. Le programme pour les novices comprenait des répétitions de course/marche qui menaient à une séance de course continue au cours de la 12e semaine. Le programme intermédiaire comprenait des séances en côte, d'intervalles et de fartlek. Les deux programmes exigeaient des participants qu'ils courent trois fois par semaine ; deux de ces séances étant séparées par une séance de course en groupe au sein d'une clinique. Il était recommandé de prévoir un jour de repos ou d'entraînement croisé entre deux séances. La durée des séances variait de 35 à 66 min selon la progression des participants.
Buist, 2008	Le programme de 8 semaines , développé par un coach d'athlétisme, exigeait des participants qu'ils courent trois fois par semaine de la première à la septième semaine et deux fois la dernière semaine. Cinq stages d'entraînement étaient organisés par des clubs de course à la fin de la troisième à la septième semaine. Le programme s'est terminé par une course de 4 miles à la fin de la huitième semaine. Les débutants commençaient par dix répétitions d'une minute de course alternées par une minute de marche. Les coureurs expérimentés débutaient par 30 minutes de course continue. La durée d'exposition à la course dans les programmes pour les coureurs débutants et récréatifs variait entre 10-40 et 20-60 minutes par entraînement respectivement.
Dallinga, 2019	Programme de course libre sur 3 mois .
Malisoux, 2014	Programme de course libre sur 9 mois .
ECR	Programme de course
Ramskov, 2018	Les participants devaient courir 3 fois par semaine et suivre ainsi un cycle de 4 semaines, répété 6 fois (24 semaines en tout). Les 8 premières semaines de pré-conditionnement ont servi de préparation physique, tous les coureurs suivant un programme de course similaire. Au cours des 16 dernières semaines, les coureurs ont suivi l'un des deux programmes de course, basés sur leur randomisation : → Groupe 1 (V) : Programme basé sur la progression du volume, avec augmentation du kilométrage hebdomadaire → Groupe 2 (I) : Programme basé sur la progression de l'intensité, avec augmentation du kilométrage hebdomadaire effectué à une allure intense
Buist, 2008	→ Groupe 1 : Programme d'entraînement gradué et adapté de 13 semaines → Groupe 2 : Programme d'entraînement standard de 8 semaines Les coureurs devaient marcher 5 minutes pour s'échauffer et récupérer. Les deux groupes se sont entraînés individuellement 3 fois par semaine, sur un parcours et une surface qu'ils avaient eux-mêmes choisis. Il leur a été conseillé de courir à une allure confortable leur permettant de converser sans perdre leur souffle. Le groupe d'entraînement graduel et le groupe standard ont commencé 13 et 8 semaines avant une course de 4 miles. Lors des séances d'entraînement, des combinaisons de course et de marche ont été effectuées.

Tab 6 : Programmes de course

Les paramètres d'entraînement mesurés diffèrent pour chaque étude incluse. Voici un tableau récapitulatif des variables analysées pour chacune d'entre elles.

Cohorte	Paramètres d'entraînement analysés				
	Intensité	Fréquence	Durée	Vitesse	Distance
Kluitenberg, 2015	✓	✓	✓		
Hespanhol, 2013	✓	✓	✓		✓
Nielsen, 2013					✓
Bovens, 1989					✓
Nielsen, 2014					✓
Van Poppel, 2018	✓	✓		✓	✓
Van Middelkoop, 2007	✓				✓

Taunton, 2003		✓			
Buist, 2008		✓	✓		
Dallinga, 2019			✓		✓
Malisoux, 2014		✓	✓		
ECR	Paramètres d'entraînement analysés				
	Intensité	Fréquence	Durée	Vitesse	Distance
Ramskov, 2018	✓				✓
Buist, 2008			✓		

Tab 7 : Paramètres d'entraînement étudiés

→ Les études s'intéressant à l'**intensité** d'entraînement mesurent cette dernière à l'aide de l'échelle RPE, l'expriment en pourcentage de la VO₂max ou la traduisent par la fréquence des sessions réalisées en *interval training* par semaine.

→ La **fréquence** est énoncée en nombre de sessions d'entraînement hebdomadaire dans toutes les études l'incluant comme variable.

→ La **durée** est présentée en minutes ou en heures par session ou par semaine.

→ La **vitesse** est exprimée en kilomètres par heure, multiple de l'unité de mesure du Système International d'unités qu'est le mètre par seconde.

→ La **distance** est formulée en kilomètres parcourus par semaine, ou sous forme de progression moyenne hebdomadaire exprimée en pourcentage.

La collecte des informations concernant les données d'entraînement n'a pas été effectuée de la même manière dans l'ensemble des études. En effet, les variables étaient collectées soit par auto-rapport via un questionnaire ou un journal de bord électronique [81,82,84,86–90,92,93] soit par un système de positionnement global (GPS) [83,85,90,92].

Des critères de jugement variés sont étudiés au sein des études. Le critère de jugement commun à l'ensemble d'entre elles est l'apparition d'une blessure et/ou d'une douleur liée à la course. Cependant, il est à noter que les définitions des blessures liées à la course varient d'une étude à une autre. Certaines définitions prennent en compte la notion de douleur, d'autres non. Certaines incluent seulement les blessures dans les membres inférieurs, d'autres incluent également celles situées dans le dos. Beaucoup définissent une blessure par les conséquences néfastes qu'elle produit sur les performances sportives, d'autres par la nécessité d'arrêter l'entraînement, pendant un laps de temps compris entre un jour et une semaine. Enfin, certaines définitions introduisent la notion de diagnostic médical pour définir une blessure, tandis que d'autres se contentent d'un auto-rapport de la part des coureurs atteints.

Vous trouverez dans le tableau ci-joint, les différentes définitions d'une blessure liée à la course ainsi que les manières de les diagnostiquer dans chacune des études incluses.

Cohorte	Définition	Diagnostic
Kluitenberg, 2015	« musculoskeletal pain in a sole body part of the lower extremity or back which the participant attributed to running and caused a restriction in running ability (speed, distance or duration) for at least three consecutive training sessions. »	Auto-rapport
Hespanhol, 2013	« any pain of musculoskeletal origin attributed to running by the runners themselves and severe enough to prevent the runner from performing at least one training session. »	Auto-rapport
Nielsen, 2013	« any musculoskeletal complaint of the lower extremity or back causing a restriction of running for at least 1 week. »	Examen clinique par un médecin
Bovens, 1989	« any physical complaint developed in relation with running activities and causing restriction in running distance, speed, duration or frequency. »	Auto-rapport ou diagnostic par un spécialiste

Nielsen, 2014	« any musculoskeletal complaint of the lower extremity or back caused by running that restricted the amount of running (distance, duration, pace, or frequency) for at least 1 week. »	Examen clinique par un physiothérapeute +/- imagerie
Van Poppel, 2018	« self-reported complaints of muscles, joints, tendons or bones in the lower extremity (hip, groin, thigh, knee, lower leg, ankle, foot and toe) due to running activities by which the running intensity or frequency was reduced, or medical consultation was needed. »	Auto-rapport
Van Middelkoop, 2007	« injury on muscles, joints, tendons and/or bones of the lower extremities (hip, groin, thigh, knee, lower leg, ankle, foot, and toe) that the participant attributed to running. »	Auto-rapport
Taunton, 2003	« grade 1 : pain only after exercise; grade 2 : pain during exercise, but not restricting distance or speed; grade 3 : pain during exercise and restricting distance and speed; grade 4 : pain preventing all running. »	Consultation d'un professionnel
Buist, 2008	« any musculoskeletal pain of the lower limb or back causing a restriction in running (mileage, pace or duration) for at least 1 day. »	Auto-rapport
Dallinga, 2019	« every physical complaint that resulted in at least 1 week of training loss. »	Auto-rapport
Malisoux, 2014	« any physical pain located at the lower limbs or lower back region, sustained during or as a result of running practice and impeding planned running activity for at least 1 day (time-loss definition). »	Auto-rapport
ECR	Définition	Diagnostic
Ramskov, 2018	« an injury sustained on muscles, joints, tendons, and/or bones during or after running and attributed to running. The injury must have caused a training reduction (reduced distance, intensity, frequency, etc) for at least 7 days. »	Examen clinique par des kinésithérapeutes expérimentés +/- imagerie
Buist, 2008	« any musculoskeletal complaint of the lower extremity or back causing a restriction of running for at least 1 week. »	Auto-rapport

Tab 8 : Critères de jugement et méthodes d'évaluation

Un tableau récapitulant succinctement les caractéristiques des études incluses est laissé à disposition du lecteur en annexe. De même, vous trouverez le lien d'un document dactylographié présentant chaque étude en détails (cf. Annexe 3).

3.2. Risques de biais des études incluses

3.2.1. Essais cliniques randomisés

Pour les essais cliniques randomisés inclus dans cette revue, l'**échelle Pedro** a été utilisée afin d'analyser le risque potentiel de biais. Cette dernière est composée de onze items, dont le premier n'est pas comptabilisé dans le score final mais a pour objectif de renseigner sur la validité externe des essais.

Chaque réponse obtenue pour chaque item est notée comme positive ou négative et équivaut respectivement à 1 ou 0 point. L'interprétation du résultat final se fait de la manière suivante :

- **Score supérieur ou égal à 9** : étude d'excellente qualité
- **Score compris entre 6 et 8** : étude de bonne qualité
- **Score égale à 5** : étude de moyenne qualité
- **Score inférieur ou égal à 4** : étude de faible qualité

Ainsi, plus le score est proche de 10, moins l'étude est sujette à être biaisée.

La validation de chaque item et le score Pedro des essais cliniques randomisés inclus sont synthétisés dans le tableau suivant. L'échelle Pedro, vierge et traduite en français, a été placée en annexe afin que

les lecteurs puissent aisément se référer aux items évalués (cf. Annexe 4). De même, un tableau justifiant la validation des items pour chaque article a été placé en annexe (cf. Annexe 5).

Etude	Items											Score Pedro
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Ramskov, 2018	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✓	✓	7/11
Buist, 2008	✓	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	6/11

Tab 9 : Synthèse du risque de biais des ECR, évalué à l'aide de l'échelle PEDRO

Les deux essais cliniques inclus présentent un score compris entre 6 et 8, correspondant à une bonne qualité méthodologique.

3.2.2. Cohortes prospectives

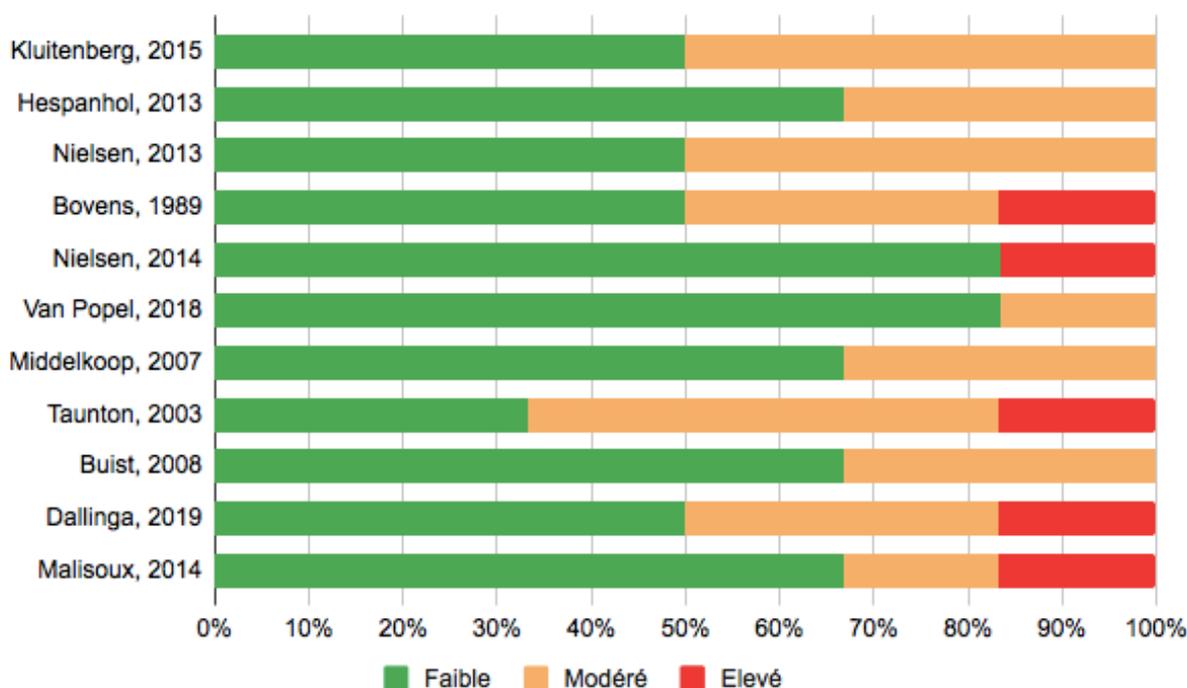
Pour les études de cohorte incluses dans cette revue, l'échelle QUIPS a été utilisée afin d'analyser le risque potentiel de biais. Cette grille d'évaluation s'intéresse aux risques de biais en évaluant six domaines : les participants, le suivi et l'attribution, la mesure du facteur pronostique, la mesure du critère de jugement, les variables de confusion, les analyses statistiques et le rapport des résultats.

La synthèse de la qualité de chaque étude est présentée visuellement dans les tableaux et graphiques suivants. Le risque de biais a été détaillé pour chaque étude et pour chaque domaine évalué.

	Participants	Suivi et attribution	Mesure du facteur pronostique	Mesure du critère de jugement	Variation de confusion	Analyse et rapport des résultats
Kluitenberg, 2015	●	●	●	●	●	●
Hespanhol, 2013	●	●	●	●	●	●
Nielsen, 2013	●	●	●	●	●	●
Bovens, 1989	●	●	●	●	●	●
Nielsen, 2014	●	●	●	●	●	●
Van Popel, 2018	●	●	●	●	●	●
Middelkoop, 2007	●	●	●	●	●	●
Taunton, 2003	●	●	●	●	●	●
Buist, 2008	●	●	●	●	●	●
Dallinga, 2019	●	●	●	●	●	●
Malisoux, 2014	●	●	●	●	●	●

● Faible ● Modéré ● Elevé

Tab 10 : Synthèse du risque de biais des études de cohorte, évalué à l'aide de la grille QUIPS



Graph 1 : Graphique synthétisant le risque de biais des études de cohorte

L'interprétation des résultats a été conduite de la manière suivante :

- Score compris entre **0%** et **20%** : qualité méthodologique **très faible**
- Score compris entre **20%** et **40%** : qualité méthodologique **faible**
- Score compris entre **40%** et **60%** : qualité méthodologique **moyenne**
- Score compris entre **60%** et **80%** : qualité méthodologique **élevée**
- Score compris entre **80%** et **100%** : qualité méthodologique **très élevée**

Ainsi, une qualité méthodologique très élevée a été attribuée à deux études [85,86], élevée à quatre études [82,87,89,91], moyenne à quatre études [81,83,84,90], et faible à une seule étude [88]. Notons que dix études sur onze ont obtenu un score supérieur ou égal à 50%, ce qui atteste d'une qualité méthodologique majoritairement élevée.

Les grilles QUIPS, remplies entièrement pour chaque étude incluse, ont été placées en annexe afin que les lecteurs puissent se référer aux justifications fournies (cf. Annexe 6).

3.3. Association entre les paramètres de l'entraînement et les critères de jugement étudiés

3.3.1. Résultats des études de cohorte

3.3.1.1. Intensité de course

Quatre études de cohorte se sont intéressées au lien existant entre l'intensité de course et l'apparition d'une blessure [81,82,86,87].

Dans l'étude conduite par **Kluitenberg (2015)**, l'intensité a été mesurée selon le score RPE, rapporté chaque semaine par les coureurs via un journal de bord en ligne. Pour estimer l'association des variables avec les blessures, un modèle de régression de Cox étendu a été utilisé avec comme échelle de temps les minutes de course. Le lien des variables avec les blessures a été examiné, puis une analyse multivariée incluant comme prédicteurs d'intérêt le volume, l'intensité et la fréquence de course, a été conduite. Une analyse de sensibilité supplémentaire a été effectuée dans laquelle l'événement d'intérêt n'était pas la blessure, mais le premier rapport de douleur. Les rapports de risque (HR) et les intervalles de confiance (IC) à 95% correspondant ont été rapportés pour les prédicteurs évalués. Les HR avec un $p \leq 0,05$ ont été considérés comme statistiquement significatifs. Dans cette étude **l'intensité a été associée à la survenue de blessures** dans les analyses univariées et multivariées, mais **n'a pas été liée à l'apparition d'une première douleur**. L'intensité moyenne des séances d'entraînement, considérée comme « assez difficile », était de 12.1 sur l'échelle RPE. Le tableau présenté ci-dessous laisse entrevoir les résultats des analyses univariées et multivariées, avec comme critère de jugement respectif la blessure dans la première ligne, puis la douleur dans la seconde.

Variable étudiée	Univariable HR (95% IC)	Multivariable HR (95% IC)
Intensité (RPE)	1.29 (1.18-1.41)	1.28 (1.18-1.40)
Intensité (RPE)	1.03 (0.98-1.09)	1.02 (0.97-1.08)

Tab 11 : Association entre l'intensité de course et le risque de blessure ou de douleur, Kluitenberg

Hespanhol (2013) a fait le choix de mesurer l'intensité par le nombre de sessions réalisées sous forme d'*interval training* par semaine. Les résultats de cette étude mettent en évidence une association statistiquement significative. Selon les auteurs, **pratiquer l'*interval training* quand on débute est associé à un taux moins élevé de blessures**.

Variable	Univariable OR (95%IC)	Multivariable OR (95%IC)
Interval training (séances/semaine)	0.71 (0.48 to 1.03)	0.61 (0.43-0.88)

Tab 12 : Association entre l'intensité de course et le risque de blessure, Hespanhol

Van Poppel (2018) a également étudié cette relation. En effet, l'*interval training* a été pris en compte dans les analyses de régression chez l'ensemble des catégories de coureurs incluses dans cette étude. Cependant, **aucune association significative** n'a été prouvée. Les résultats des analyses univariées n'étant pas disponibles dans l'article, aucune valeur ne peut présentement être fournie.

Dans l'étude réalisée par **Van Middelkoop (2007)**, les blessures liées à la course à pied ont été utilisées comme variable dépendante. Des analyses de régression univariées ont été effectuées sur les facteurs démographiques, d'entraînement, d'événement de course, de style de vie et de blessures antérieures liées à la course à pied pour chaque facteur indépendamment. Les facteurs présentant une valeur significative dans les modèles univariés ont été intégrés à un modèle de régression logistique multivariable. Des analyses de sous-groupes ont ensuite été réalisées en fonction de la localisation des blessures. Les résultats concernant les données relatives à l'*interval training* sont présentés ci-dessous. Le premier tableau porte sur les résultats de l'analyse univariée **concernant les blessures, toute localisation confondue**. Comme nous pouvons le lire, **les résultats ne sont pas significatifs**.

Variable	Univariable OR(95%IC)
Interval training (à toutes les séances)	0.76 (0.54-1.07)

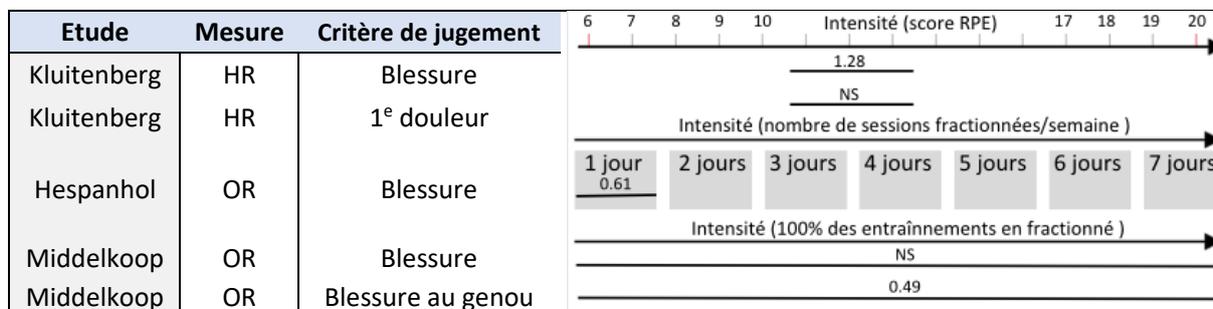
Tab 13 : Association entre l'intensité de course et le risque de blessure, Van Middelkoop

Le second tableau porte sur les résultats de l'analyse multivariée concernant les blessures localisées au genou uniquement. Comme nous pouvons le lire, **l'*interval training* représente un facteur protecteur des blessures au genou lorsqu'il est pratiqué à chaque session d'entraînement**.

Variable	Multivariable OR(95%IC)
Interval training (à toutes les séances)	0.49 (0.26-0.93)

Tab 14 : Association entre l'intensité de course et le risque de blessure au genou, Van Middelkoop

Voici un résumé des résultats relatifs à l'intensité de course pour l'ensemble des études analysant ce paramètre, exceptée Van Poppel, pour qui des informations manquaient.



NS représente une donnée non significative. Seules les données significatives ont été retranscrites sous format numérique.

Tab 15 : Résumé des résultats relatifs à l'association entre l'intensité et le risque de blessures ou de douleurs

3.3.1.2. Fréquence de course

Six études ont étudié la relation entre la fréquence de course et le risque de développer une blessure liée à la course [81,82,86,88,89,91].

Kluitenberg (2015) a défini la fréquence de course comme le nombre de séances d'entraînement au cours des sept jours précédents et a classé cette dernière en quatre catégories : < 2 séances, 2 séances, 3 séances, > 3 séances. Les résultats de l'étude affirment que **la fréquence de course n'est pas associée significativement à la survenue d'une blessure.**

Fréquence	Univariable HR (95% IC)	Multivariable HR (95% IC)
< 2 sessions/semaine	1.16 (0.74-1.81)	0.92 (0.56-1.50)
2 sessions/semaine	1 (reference)	1 (reference)
3 sessions/semaine	1.20 (0.84-1.72)	1.42 (0.97-2.08)
> 3 sessions/semaine	1.71 (0.51-5.71)	2.27 (0.64-8.01)

Tab 16 : Association entre la fréquence de course et le risque de blessure, Kluitenberg

Dans l'étude réalisée par **Hespanhol (2013)**, une analyse univariée a premièrement été réalisée. Les variables qui présentaient des associations significatives ont été sélectionnées pour être incluses dans l'analyse logistique binaire multivariée. Les résultats ont été exprimés sous forme d'*odds ratios* (OR) et d'IC à 95%. Les facteurs prédictifs ont été classés comme suit : facteurs de risque de blessure si l'OR était supérieur à 1.0 ou facteurs protecteurs si l'OR était inférieur à 1.0. **La fréquence d'entraînement n'a pas été associée significativement au risque de développer une blessure**, sachant que les participants à l'étude couraient en moyenne trois fois par semaine.

Variable étudiée	Univariable OR (95% IC)
Fréquence (sessions/semaine)	1.01 (0.87-1.18)

Tab 17 : Association entre la fréquence de course et le risque de blessure, Hespanhol

Dans l'étude réalisée par **Van Poppel (2018)**, un modèle de régression logistique multivariée a été conduit, dans la cohorte totale en premier lieu, puis pour chaque distance séparément. Les résultats ont été exprimés en *odds ratios* (OR). Pour les coureurs préparant un 10-15 km, les semi-marathoniens et les marathoniens, plusieurs variables ont été incluses dans le modèle de régression, y compris la fréquence de course. **Selon les auteurs, la fréquence d'entraînement est apparue comme un facteur de risque de blessures significatif** uniquement chez les **coureurs de 10-15km**, qui couraient en moyenne 2,4 fois par semaine. Vous trouverez ci-dessous les résultats de l'analyse multivariée.

Variable étudiée	5km	10-15km	Semi-marathon	Marathon
	OR (95% IC)			
Fréquence (sessions/semaine)	-	1.3 (0.99-1.7)	-	-

Tab 18 : Association entre la fréquence de course et le risque de blessure, Van Poppel

Dans l'étude réalisée par **Taunton (2003)**, un modèle de régression multivariée a été réalisé pour chaque sexe et a permis d'évaluer la contribution relative des facteurs de risque prédits, dont la fréquence de course, au nombre total de blessures. Les rapports de cotes ont été approximés, y compris leurs intervalles de confiance à 95 %. La signification a été déclarée si un ou plusieurs des facteurs de risque dépassaient une valeur p de 0,05. **Courir un jour par semaine** a montré une tendance non significative pour le risque de blessure chez les hommes mais **significative chez les femmes**.

Fréquence	Hommes	Femmes
	OR (95% IC)	
1 jour/semaine	-	3.648 (1.082-12.297)
2 jours/semaine	-	-
3 jours/semaine	-	-
4 jours/semaine	-	-
5 jours/semaine	-	-

Tab 19 : Association entre la fréquence de course et le risque de blessure, Taunton

Dans l'étude réalisée par **Buist (2008)**, les facteurs de risque potentiels ont d'abord fait l'objet d'une analyse univariée pour déterminer leurs relations avec les blessures. Les variables associées de manière indépendante aux blessures chez les hommes ou les femmes ont été introduites dans des modèles de prédiction multivariés de régression de Cox spécifiques au sexe. Les rapports de risque (HR) et les intervalles de confiance (IC) à 95% correspondant ont été calculés pour les facteurs associés aux RRI. Les analyses de régression de Cox univariées n'ont prouvé **aucune association significative entre les paramètres d'entraînement et le risque de développer une blessure**, ni chez les hommes ni chez les femmes, ces derniers courant respectivement 2,4 et 2,2 fois par semaine moyennement.

Variable étudiée	Hommes	Femmes
	HR (95% CI)	
Fréquence (sessions/semaine)	1.08 (0.59 to 1.97)	1.92 (0.94-3.93)

Tab 20 : Association entre la fréquence de course et le risque de blessure, Buist

Dans l'étude réalisée par **Malisoux (2014)**, une régression de Cox a été effectuée pour calculer les taux de risque dans les groupes d'exposition, en utilisant les blessures comme résultat primaire et les heures passées à courir comme échelle de temps. L'hypothèse de risques proportionnels a été évaluée à l'aide de graphiques log-moins-log pour valider le modèle statistique. En guise de phase préliminaire, des régressions de risques proportionnels de Cox non ajustées ont été effectuées pour présenter les estimations brutes des caractéristiques liées à l'entraînement. Pour étudier si les effets des expositions primaires sur les RRI étaient modifiés par les blessures antérieures, l'expérience en course à pied à

court terme et l'indice de masse corporelle (IMC), les étapes supplémentaires suivantes ont été réalisées :

- ❖ Analyses stratifiées pour chacune des deux caractéristiques de l'entraînement (volume et fréquence hebdomadaires) en incluant soit les blessures antérieures, soit l'expérience en course à pied à court terme, soit l'IMC, comme facteurs modificateurs potentiels
- ❖ Calcul des HR et IC dans les différentes strates
- ❖ Calcul de l'excès de risque relatif dû à l'interaction (RERI)

Le synergisme entre deux expositions a été considéré comme tel si la valeur 0 n'était pas comprise dans l'IC95 % du RERI. Une valeur RERI supérieure à zéro implique un synergisme positif tandis qu'une valeur négative implique un synergisme négatif. La significativité a été acceptée pour $p < 0,05$.

→ Dans cette étude, les analyses brutes ont révélé qu'une **fréquence de course < 2 séances/semaine était associée à un taux de blessures plus élevé**. De plus, une blessure antérieure a été identifiée comme un facteur modificateur, puisque le RERI sur la fréquence des séances était significativement supérieur à 0.

Fréquence	Analyse brute HR (95% IC)
< 2 sessions/semaine	2.41 (1.71-3.42)

Tab 21 : Association entre la fréquence de course et le risque de blessure, Malisoux

	< 2 sessions/semaine	≥ 2 sessions/semaine
	HR (95%IC)	
Blessure antérieure : Non	2.08 [1.30; 3.32]	Reference
Blessure antérieure : Oui	5.09 [3.19; 8.11]	1.57 [1.05; 2.36]
RERI	2.44 [0.48; 4.39]	

Tab 22 : Association entre la fréquence de course et le risque de blessure, avec ou sans antécédent(s), Malisoux

Vous trouverez ci-dessous un résumé des résultats relatifs à l'association entre la fréquence hebdomadaire de course et le risque de blessure, pour l'ensemble des études analysant ce paramètre.

Etude	Mesure	Sous-groupe	Fréquence hebdomadaire de course						
			1 jour NS	2 jours Ref	3 jours NS	4 jours	5 jours NS	6 jours	7 jours
Kluitenberg	HR	-	NS						
Hespanhol	OR	-	NS						
Van Poppel	OR	5km*	NS						
Van Poppel	OR	10-15km*	NS						
Van Poppel	OR	Semi*	NS						
Van Poppel	OR	Marathon*	NS						
Taunton	OR	♂	NS						
Taunton	OR	♀	3.648	NS					
Buist	HR	♂	NS						
Buist	HR	♀	NS						
Malisoux	HR	-	2.41	NS					

*Sous-groupes de coureurs préparant une course, dont le kilométrage est retranscrit dans le tableau / NS représente une donnée non significative. Seules les données significatives ont été retranscrites sous format numérique.

Tab 23 : Résumé des résultats relatifs à l'association entre la fréquence de course et le risque de blessure

3.3.1.3. Durée de course

Cinq études ont analysé la relation entre la durée de course et le risque de développer une blessure liée à la course [81,82,89–91].

Dans l'étude réalisée par **Kluitenberg (2015)**, le volume hebdomadaire de course a été classé en quatre catégories distinctes : < 30 minutes, 30-45 minutes, 45-60 minutes et > 60 minutes. Le fait d'avoir couru **plus de soixante minutes au cours des sept jours précédents** a montré un **effet protecteur** sur la survenue d'une blessure, à la fois dans les analyses univariées et multivariées.

Volume	Univariable HR (95% IC)	Multivariable HR (95% IC)
< 30 minutes	1 (reference)	1 (reference)
30-45 minutes	0.73 (0.48-1.13)	0.65 (0.40-1.06)
45-60 minutes	0.71 (0.42-1.18)	0.56 (0.31-1.04)
> 60 minutes	0.52 (0.29-0.93)	0.41 (0.20-0.86)

Tab 24 : Association entre la durée de course et le risque de blessure, Kluitenberg

Une analyse de sensibilité supplémentaire a été effectuée dans laquelle l'événement d'intérêt n'était pas la blessure mais le premier rapport de douleur. Selon les résultats présentés ci-dessous, **courir plus de 30 minutes protège contre le risque de développer une première douleur**. Plus la distance augmente, plus cette association est forte.

Volume	Univariable HR (95% IC)	Multivariable HR (95% IC)
< 30 minutes	1 (reference)	1 (reference)
30-45 minutes	0.67 (0.55-0.83)	0.63 (0.50-0.79)
45-60 minutes	0.53 (0.41-0.68)	0.45 (0.33-0.61)
> 60 minutes	0.45 (0.34-0.59)	0.38 (0.27-0.53)

Tab 25 : Association entre la durée de course et l'apparition d'une première douleur, Kluitenberg

Dans l'étude réalisée par **Hespanhol (2013)**, la durée de chaque séance de course a été enregistrée. Cette dernière **a été déclarée par les auteurs comme un facteur de risque de blessure significatif** dans les analyses univariées et multivariées, bien que l'effet ait été très faible. La durée médiane d'une séance de course chez l'ensemble des participants était de 60 minutes.

Variable étudiée	Univariable OR (95% IC)	Multivariable OR (95% IC)
Durée (min/session)	1.01 (1.00 to 1.02)	1.01 (1.00-1.02)

Tab 26 : Association entre la durée de course et le risque de blessure, Hespanhol

Dans l'étude réalisée par **Buist (2008)**, la durée était exprimée en heures hebdomadaires. Les hommes couraient en moyenne 1,5 heure par semaine, soit 90 minutes, les femmes 1,1 heure par semaine, soit 66 minutes. La durée **n'a pas été significativement associée au risque de développer une blessure**.

Variable étudiée	Hommes	Femmes
	HR (95% CI)	
Durée (heures/semaine)	0.998 (0.99 to 1.01)	1.004 (0.99-1.01)

Tab 27 : Association entre la durée de course et le risque de blessure, Buist

Dans l'étude conduite par **Dallinga (2019)**, le niveau de signification statistique a été fixé à $p > 0,05$. Pour examiner les facteurs de risque potentiels des blessures liées à la course, des modèles de régression univariées et multivariées ont été appliqués. Les résultats des analyses de régression ont

été exprimés en OR avec un IC de 95%. Les facteurs de risque potentiels comprenaient les heures de course sur la période totale d'entraînement. **Aucune relation n'a été trouvée entre les caractéristiques de l'entraînement et l'apparition d'une blessure** en course à pied.

Variable étudiée	Univariable OR (95% IC)	Multivariable OR (95% IC)
Durée d'entraînement (heures)	1.00 (0.999 to 1.002)	1.00 (0.999-1.003)

Tab 28 : Association entre la durée de course et le risque de blessure, Dallinga

Dans l'étude réalisée par **Malisoux (2014)**, le volume hebdomadaire, dichotomisé en < 2 heures et ≥ 2 heures, était étudié comme potentiel facteur de risque. Les **analyses brutes** ont révélé qu'un **volume hebdomadaire < 2 heures était associé à un taux de blessure plus élevé**. Les blessures antérieures ont été identifiées comme un facteur modificateur du risque. De plus, une synergie négative a été trouvée entre l'indice de masse corporelle et le volume hebdomadaire.

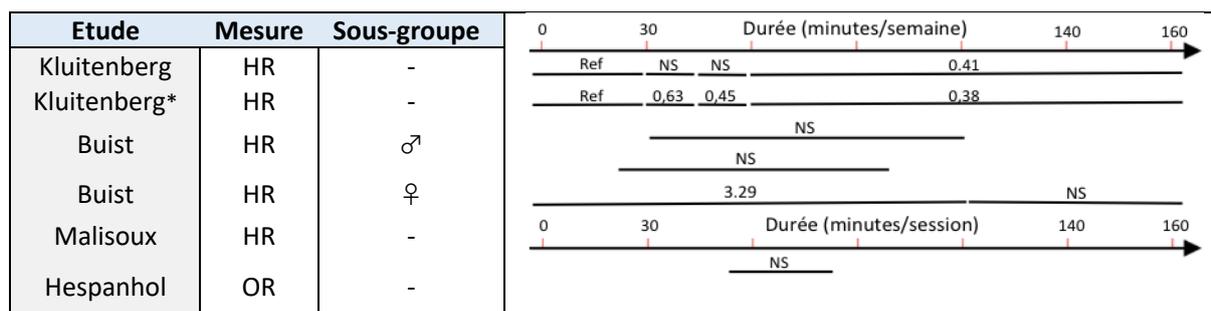
Durée	Analyse brute HR (95% IC)
< 2 heures/semaine	3.29 (2.27-4.79)

Tab 29 : Association entre la durée de course et le risque de blessure, Malisoux

	< 2h/semaine	≥ 2h/semaine
	HR (95%IC)	
Blessure antérieure: Non	2.80 [1.72; 4.56]	Reference
Blessure antérieure : Oui	8.05 [4.89; 13.28]	1.56 [1.04; 2.37]
RERI	4.69 [1.42; 7.95]	
IMC < 25	4.70 [3.07; 7.21]	Reference
IMC ≥ 25	2.94 [1.72; 5.03]	2.12 [1.34; 3.36]
RERI	-2.88 [-5.10; -0.66]	

Tab 30 : Facteurs modificateurs du risque, Malisoux

Voici un résumé des résultats relatifs à la durée d'entraînement pour l'ensemble des études analysant ce paramètre, exceptée Dallinga, pour qui des informations manquaient.



*Le critère de jugement ici évalué est l'apparition d'une première douleur / NS représente une donnée non significative. Seules les données significatives ont été retranscrites sous format numérique.

Tab 31 : Résumé des résultats relatifs à l'association entre la durée de course et le risque de blessure

3.3.1.4. Vitesse de course

Seule l'étude de **Van Poppel (2018)** s'est intéressée à la relation entre la vitesse de course et l'apparition de blessures. La vitesse moyenne de course durant un entraînement (km/h) a été incluse dans les analyses de régression chez les coureurs de 10-15km, les semi-marathoniens et les marathonien. **Aucune corrélation statistiquement significative n'a été décelée entre la vitesse de course et le risque de développer une blessure**. Aucune donnée chiffrée n'est présentée au lecteur.

3.3.1.5. Distance de course

Sept études ont étudié la relation entre la distance de course et le risque de développer une blessure [82–87,90].

Dans l'étude conduite par **Hespanhol (2013)**, la distance de course médiane était de 28,5 kilomètres par semaine. Cette dernière **n'est pas apparue comme étant un facteur de risque significatif**.

Variable étudiée	Univariable OR (95% IC)
Distance (km/semaine)	1.00 (0.99-1.01)

Tab 32: Association entre la distance hebdomadaire de course et le risque de blessure, Hespanhol

Dans l'étude réalisée par **Nielsen (2013)**, la progression hebdomadaire de la distance de course, exprimée en pourcentage, a été enregistrée. Bien que cela ne soit **pas significatif** ($p=0,07$), les participants blessés ont connu une augmentation moyenne du volume d'entraînement hebdomadaire de 31,6 +/- 3,1% par rapport à une augmentation de 22,1 +/- 2,1% chez les participants indemnes. Lorsque la progression hebdomadaire du volume d'entraînement la semaine précédant l'apparition de la blessure a été comparée aux progressions hebdomadaires du volume d'entraînement accomplies par les participants blessés au cours des autres semaines, la différence moyenne était de 86%.

Dans l'étude de **Bovens (1989)**, la relation entre le nombre de blessés et la distance moyenne parcourue à l'entraînement, exprimée en kilomètres, était **statistiquement significative** entre la première et la deuxième phase ($r^2 = 0,36$, $p= 0,001$), au cours desquelles les participants ont parcouru en moyenne 24,1 km et 34,9 km respectivement et, à un moindre degré, entre la première et la troisième phase ($r^2 = 0,16$, $p= 0,015$), au cours desquelles les participants ont parcouru en moyenne 24,1 km et 43,6 km.

Dans l'étude réalisée par **Nielsen (2014)**, l'exposition primaire d'intérêt était le rapport entre deux distances hebdomadaires, exprimé en pourcentage de changement. Suite au calcul du ratio après chaque séance de course, le changement de la distance hebdomadaire a été classé dans l'un des trois groupes suivants : progression ou régression inférieure à 10 %, entre 10 % et 30 %, supérieure à 30 %. Les blessures ont été catégorisées dans l'une des trois distinctions suivantes : blessures liées à l'allure, à la distance ou autres. **Aucune différence significative** dans les taux de blessures n'a été trouvée entre les groupes d'exposition.

Distance : progression hebdomadaire	HR (95%IC)
< 10%	1 (reference)
10-30%	0.99 (0.55-1.82)
> 30%	1.17 (0.84-1.63)

Tab 33 : Association entre la progression hebdomadaire du kilométrage et le risque de blessure, Nielsen

Dans l'étude réalisée par **Van Poppel (2018)**, la distance d'entraînement hebdomadaire a été incluse comme variable dans les analyses de régression. Cette dernière a été considérée comme étant un **facteur de risque de blessures** chez les coureurs de 5km, de 10-15km ainsi que chez les marathoniens, sachant qu'ils parcouraient respectivement 12km, 20km et 46,5km par semaine moyennement. Vous trouverez ci-dessous les résultats de l'analyse multivariée.

Variable	5km	10-15km	Semi	Marathon	Total
	OR (95% IC)				
Distance (km/semaine)	0.95 (0.9-0.99)	0.97 (0.95-0.99)	0.98 (0.97-1)	0.98 (0.97-0.99)	0.99 (0.98-1)

Tab 34: Association entre la distance de course et le risque de blessure, Van Poppel

Dans l'étude réalisée par **Van Middelkoop (2007)**, une distance d'entraînement < 40 km/semaine est apparue comme un **facteur protecteur des blessures localisées au mollet**. En revanche, aucune association significative n'a été déclarée lorsque la distance était supérieure à 60km/semaine, ni entre la distance de course et le risque de blessures, toutes localisations confondues. Notons que les participants de cette étude couraient en moyenne 50.2 km et que très peu de participants couraient moins de 32 km par semaine.

Distance	Multivariable OR (95% IC)
0-40km/semaine	0.36 (0.17-0.78)
> 60km/semaine	0.57 (0.27-1.1)

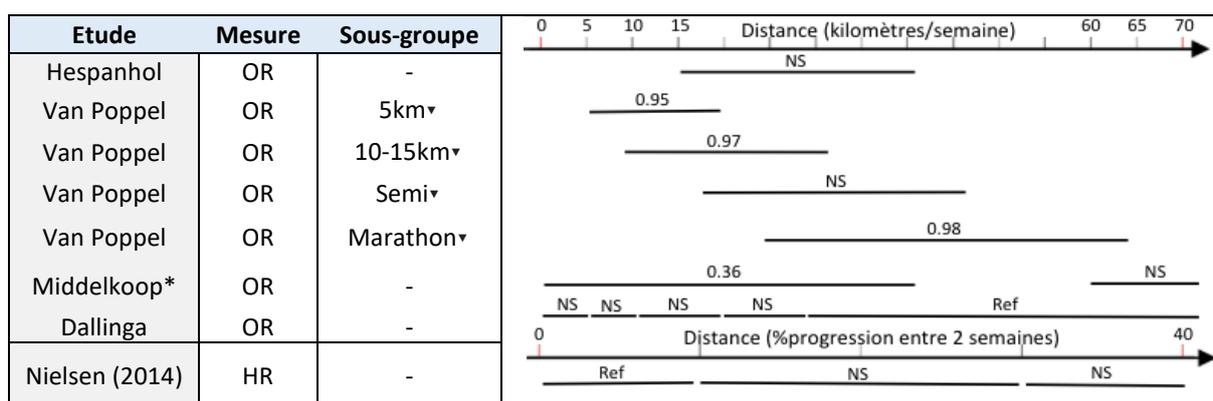
Tab 35 : Association entre la distance de course et le risque de blessure au mollet, Van Middelkoop

Dans l'étude réalisée par **Dallinga (2019)**, aucune relation n'a été prouvée entre les caractéristiques de l'entraînement et l'apparition d'une blessure. Comme nous pouvons le voir ci-dessous, aucune association n'est statistiquement significative.

Distance / semaine	Univariable OR (95% IC)	Multivariable OR (95% IC)
< 5km	2.03 (0.87-4.70)	2.99 (0.99-9.07)
5-10km	1.85 (0.92-3.69)	1.98 (0.89-4.41)
10-20km	1.24 (0.65-2.38)	1.15 (0.57-2.32)
20-30km	1.29 (0.65-2.59)	1.20 (0.58-2.47)
> 30km	Reference	Reference

Tab 36 : Association entre la distance hebdomadaire de course et le risque de blessure, Dallinga

Voici un résumé des résultats relatifs à la distance d'entraînement pour l'ensemble des études analysant ce paramètre, exceptées Nielsen (2013) et Bovens, pour qui des informations manquaient.



▼ Sous-groupes de coureurs préparant une course, dont le kilométrage est retranscrit dans le tableau / * Le critère de jugement évalué dans cette étude est une blessure spécifique au mollet / NS représente une donnée non significative. Seules les données significatives ont été retranscrites sous format numérique.

Tab 37 : Résumé des résultats relatifs à l'association entre la distance de course et le risque de blessure

3.3.2. Résultats des essais contrôlés randomisés

3.3.2.1. Intensité de course

Dans l'étude de **Ramskov (2018)**, les participants ont été randomisés aléatoirement soit dans un groupe d'entraînement basé sur une augmentation progressive du volume de course, soit dans un groupe basé sur une augmentation progressive de l'intensité. Les données ont été analysées en utilisant les semaines du programme comme échelle de temps. Les estimations ont été présentées sous forme de différences de risque (RD) avec un intervalle de confiance (IC) de 95 %, et les différences ont été considérées comme statistiquement significatives à $p < 0,05$. **Aucune différence statistiquement significative** n'a été trouvée entre les groupes « volume » et « intensité » en terme de blessures. Le tableau suivant présente les différences de risque de blessures liées à l'intensité au fil des semaines d'entraînement.

Moment de l'analyse	RD* (95% IC)
2 semaines	-0.8 (-5.0, 3.4)
4 semaines	-0.8 (-6.7, 5.1)
8 semaines	-2.0 (-9.2, 5.1)
16 semaines	-5.1 (-16.5, 6.3)

*RD : différence des risques

Tab 38 : Association entre l'intensité de course et le risque de blessure, Ramskov

Lors de l'évaluation des risques de blessures liées à l'intensité, le groupe « volume » a été utilisé comme référence. Puisque les données relatives à la taille d'échantillon ainsi qu'au nombre de blessés dans les deux groupes à l'issue des programmes étaient fournis, l'*odd ratio* a pu être calculé : **OR (95% IC) = 0.803 (0.506-1.275)**. Pour rappel, si la valeur 1 est incluse dans l'intervalle de confiance, le résultat est statistiquement non significatif.

3.3.2.2. Durée de course

Dans l'étude réalisée par **Buist et al (2008)**, les participants ont été affectés au programme « entraînement gradué », respectant la règle des 10% de progression, ou au groupe « entraînement standard », aléatoirement. La finalité était de réussir à courir 30 minutes de manière continue dans chacun des groupes, en débutant la première semaine par une minute de course, alternée d'une minute de marche, sur une séance d'une heure. Pour évaluer l'effet du programme gradué sur le risque lésionnel, un test de χ^2 a été utilisé. Le test log-rank a été appliqué pour comparer les courbes Kaplan-Meier des deux groupes d'entraînement, en analysant la différence concernant la probabilité d'une RRI à n'importe quel moment. Les différences ont été considérées comme statistiquement significatives à $p < 0,05$. **Le programme d'entraînement graduel n'est pas apparu comme étant préventif** ($\chi^2 = 0,016$, $df = 1$, $p = 0,90$).

Grâce aux données fournies, l'*odd ratio* a pu être calculé : **OR (95% IC) = 1.029 (0.662-1.599)**. La valeur 1 étant comprise dans l'intervalle de confiance, il est possible d'admettre qu'il n'existe pas de différence significative concernant le risque de blessure entre les deux groupes examinés.

3.3.2.3. Distance de course

Dans l'étude conduite par **Ramskov (2018)**, les différences de risque n'ont montré **aucune différence statistiquement significative** entre le groupe « intensité » et le groupe « volume » en terme de blessures. Le tableau suivant présente les différences de risque de blessures liées à la distance au fil des semaines d'entraînement.

Moment de l'analyse	RD* (95% IC)
2 semaines	-0.9 (-5.0, 3.2)
4 semaines	-2.0 (-7.5, 3.5)
8 semaines	-3.2 (-9.1, 2.7)
16 semaines	-3.4 (-13.2, 6.2)

*RD : différence des risques

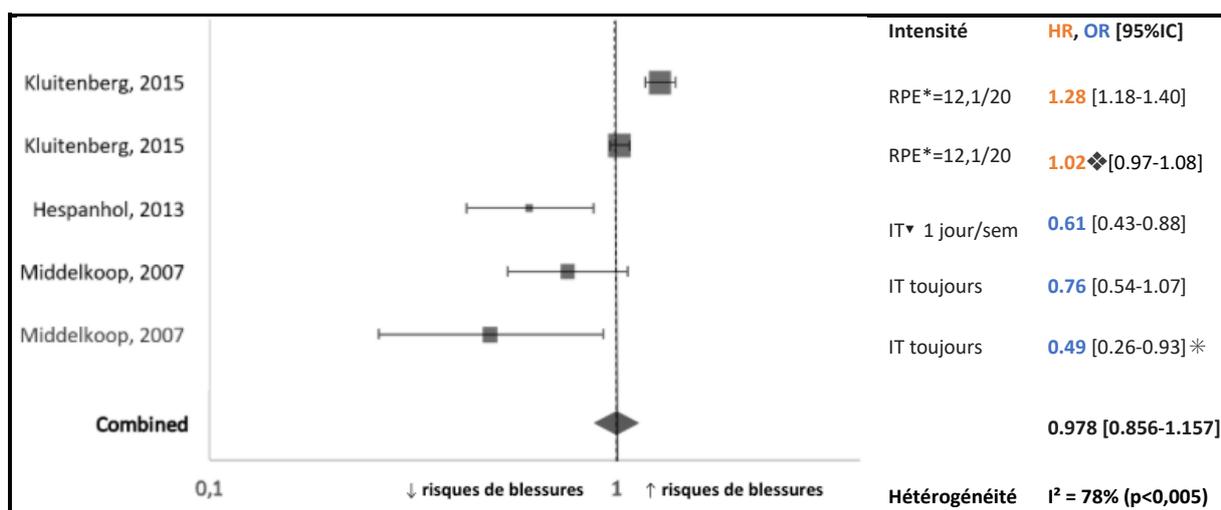
Tab 39 : Association entre la distance de course et le risque de blessure, Ramskov

Lors de l'évaluation des risques de blessures liées à la distance, le groupe « intensité » a été utilisé comme référence. Les données fournies étaient suffisantes pour calculer l'*odds ratio*, dont voici le résultat : **OR (95% IC) = 1.245 (0.784-1.977)**. La valeur 1 étant comprise dans l'intervalle de confiance, il est possible d'admettre qu'il n'existe pas de différence significative dans le risque de blessure entre les deux groupes.

3.3.3. Mise en commun des résultats : Méta-analyse

Malgré l'hétérogénéité clinique observée, une méta-analyse à effet aléatoire a été réalisée afin de mettre en commun les résultats des études de cohorte étudiées. Il nous a semblé pertinent de regrouper les informations de manière à pouvoir lire les résultats le plus simplement possible. Les données ont été regroupées en une réponse numérique exprimée visuellement sous forme de graphique en forêt. Un graphique en forêt a été effectué pour chaque paramètre d'entraînement distinctement, lorsque le nombre d'études était suffisant, sur Microsoft Excel pour Mac version 2303 16.0, à partir de feuilles de calcul dans lesquelles étaient retranscrites les informations suivantes : nom de l'étude, force de l'association exprimée en rapport des côtes ou en rapport des risques, limites inférieure et supérieure des intervalles de confiance, poids des études en fonction des tailles d'échantillon. L'hétérogénéité statistique a été recherchée sur le *forest plot* ainsi que par l'utilisation du test statistique I^2 .

3.3.3.1. Intensité

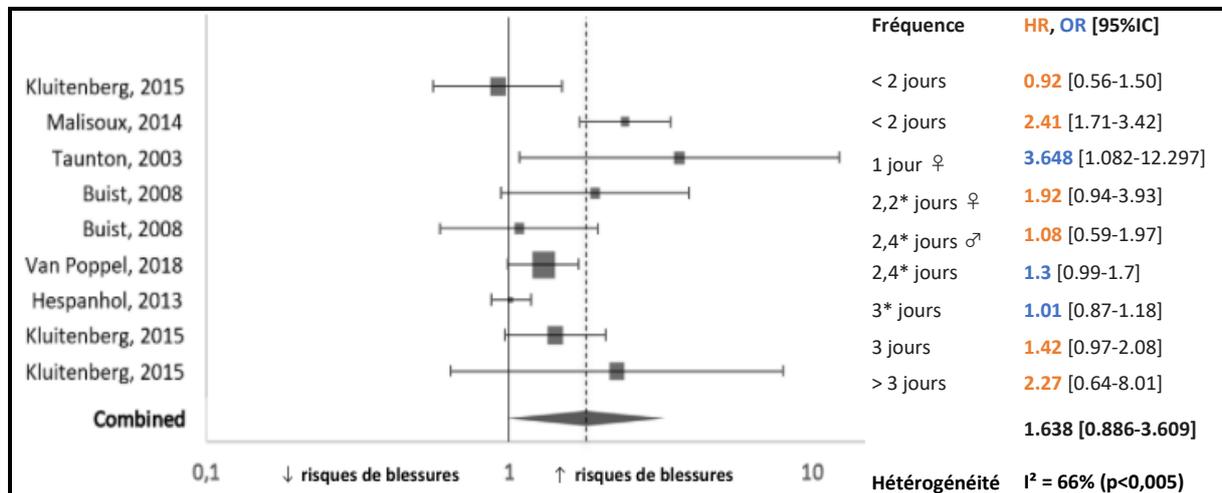


*RPE moyen sur l'ensemble du programme chez tous les participants / ▼IT = Interval Training / *Ce résultat concerne spécifiquement les blessures localisées au genou / ♦ Résultat de l'analyse de sensibilité conduite, dans laquelle le critère de jugement n'était pas une blessure, mais l'apparition d'une première douleur

Tab 40 : Forest plot concernant la relation entre l'intensité de course et le risque de blessure ou de douleur

Le graphique en forêt présenté ci-dessus laisse apparaître une tendance selon laquelle **pratiquer la course à pied à une intensité relativement élevée sur l'échelle RPE serait préjudiciable**, ainsi qu'une tendance selon laquelle **pratiquer l'interval training serait protecteur** vis-à-vis des blessures. Cependant, nous pouvons constater que la moitié des résultats présentés, ainsi que l'association combinée, ne sont pas significatifs. Associé à cela, une forte hétérogénéité statistique est constatée.

3.3.3.2. Fréquence

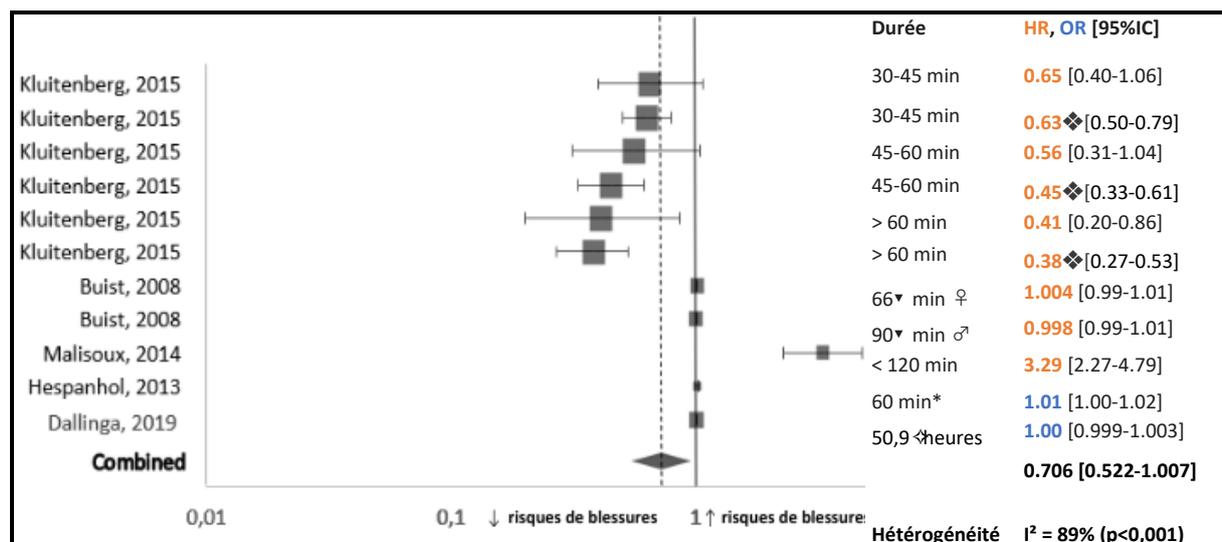


*Ces données représentent la fréquence hebdomadaire moyenne effectuée par les participants

Tab 41 : Forest plot concernant la relation entre la fréquence hebdomadaire de course et le risque de blessures

Le graphique en forêt présenté ci-dessus témoigne d'une tendance selon laquelle **courir peu fréquemment serait néfaste**, malgré certains résultats contradictoires et une majeure partie des résultats non significatifs. Notons que l'association combinée est non significative et qu'une forte hétérogénéité statistique est constatée.

3.3.3.3. Durée

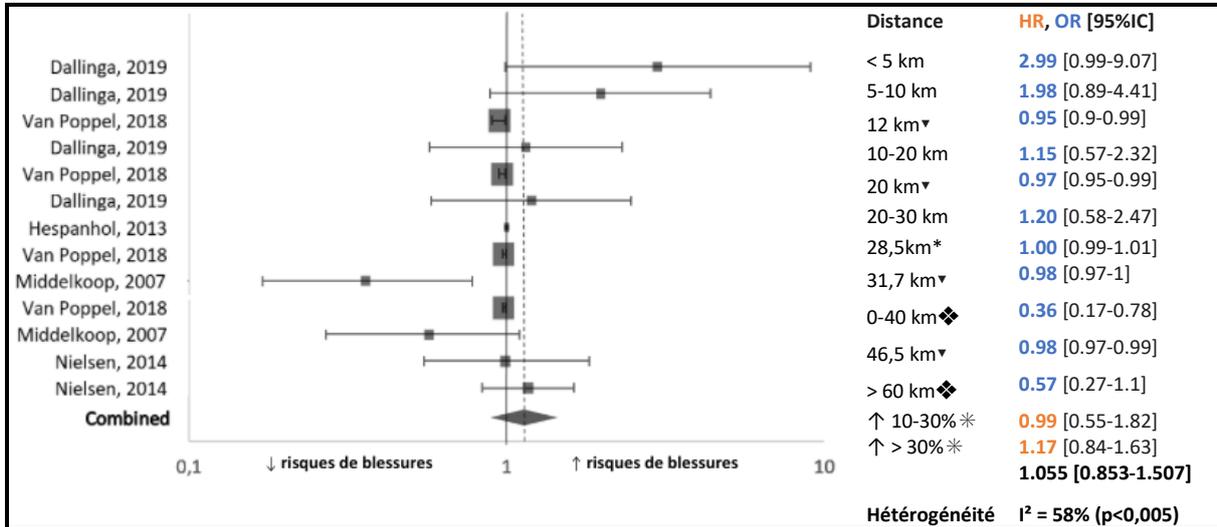


*Seule donnée exprimée en minutes par session d'entraînement, la valeur 60 représentant la médiane de la durée de course des participants par session / ♀Ces données représentent la durée de course moyenne des participants au cours d'une semaine / ♂Seule donnée exprimée en heures par période totale d'entraînement, la valeur 50,9 représentant la moyenne d'heures passées à courir pour tous les participants, sur l'ensemble du programme / ♦Résultats de l'analyse de sensibilité, dans laquelle le critère de jugement n'était pas une blessure, mais l'apparition d'une première douleur

Tab 42 : Forest plot concernant la relation entre la durée hebdomadaire de course et le risque de blessures

Le forest plot présenté ci-dessus laisse apparaître une tendance selon laquelle **il serait préférable de courir plus de 120 minutes par semaine**. L'association combinée n'est pas significative et une forte hétérogénéité statistique a été calculée.

3.3.3.4. Distance



* Médiane de la distance hebdomadaire parcourue par les participants / *Pourcentage de progression entre deux semaines d'entraînement / ▼ Moyenne de la distance hebdomadaire parcourue par les participants / ◆ Ces résultats concernent spécifiquement les blessures localisées au mollet

Tab 43 : Forest plot concernant la relation entre la distance hebdomadaire de course et le risque de blessures

Enfin, concernant la relation entre la distance parcourue à l'entraînement et le risque de se blesser, aucune association combinée statistiquement significative n'a pu être prouvée. L'hétérogénéité statistique est importante et significative. Les résultats permettent tout de même d'établir un modèle de risque. Nous remarquons sur le forest plot une tendance à **l'augmentation du risque de blessures lorsque la distance est inférieure à 28,5km parcourus par semaine**, ainsi qu'une **diminution du risque de se blesser lorsque le kilométrage augmente**. De même, une tendance selon laquelle **augmenter fortement la distance hebdomadaire entre deux semaines de course à pied serait néfaste** semble exister.

4. Discussion

4.1. Analyse des principaux résultats

Pour rappel, l'objectif de ce travail de recherche était d'examiner la relation entre la charge d'entraînement et les blessures liées à la course en effectuant une revue systématique de la littérature. Pour cela les caractéristiques de l'entraînement ont été classées en cinq groupes : intensité, fréquence, durée, vitesse, distance. La finalité était d'identifier les erreurs d'entraînement associées de manière causale à la survenue de blessures musculo-squelettiques ou de douleurs dans les membres inférieurs ou le dos chez le coureur amateur.

Il n'est pas aisé d'affirmer qu'une association observée entre une pathologie et un facteur de risque est une relation de cause à effet. On dit qu'une association existe entre deux variables lorsque le changement de l'une coïncide avec le changement de l'autre. Une association peut être positive ou négative, proportionnelle ou non. Elle est dite causale lorsqu'on peut prouver qu'un changement de la variable indépendante (l'exposition) conduit à un changement de la variable dépendante (la pathologie).

Plusieurs problèmes sont susceptibles d'être rencontrés dans l'établissement d'un lien de causalité comme la possibilité d'une causalité multiple, la présence de facteurs confusionnels ou de biais dans le plan de recherche ou la collecte des données, pouvant entraîner des associations fausses ou parasites. De plus, il n'existe aucune méthode statistique qui puisse différencier une association causale d'une non causale. Pour ces raisons, les termes "inférence", "possibilité" ou "vraisemblance" causale sont préférés.

Les exigences relatives à l'établissement d'un lien de causalité sont les suivantes (cf. Annexe 7) :

- L'association est statistiquement significative
- L'association n'est pas falsifiée, c'est-à-dire elle n'est pas liée à des biais
- Les critères de Hill, groupe de conditions minimales pour fournir une preuve adéquate d'une relation causale entre deux événements, sont satisfaits (cf. Annexe 8)

Si toutes ces exigences sont remplies, l'association est probablement causale. Dans ce cas, plusieurs modèles de causalité peuvent être établis (cf. Annexe 9).

4.1.1. Principaux résultats

4.1.1.1. Intensité

Les résultats des études prouvent une association entre l'intensité de l'entraînement et le risque de développer une blessure ou une douleur.

L'étude menée par Kluitenberg [81] suggère qu'une intensité de course « assez difficile » est associée significativement à la survenue de blessures, mais n'est pas liée à l'apparition d'une première douleur, malgré une tendance en ce sens. Au contraire, deux autres études [82,87] affirment que pratiquer l'*interval training*, autrement nommé *High Intensity Interval Training* (HIIT), protège des blessures chez les coureurs amateurs, notamment celles du genou. Finalement, Ramskov [92] ne déclare aucune différence statistiquement significative entre des coureurs augmentant progressivement soit leur volume, soit leur intensité d'entraînement. De la même manière, Van Poppel [86] ne conclut aucun résultat significatif entre l'intensité de course et le risque lésionnel.

Ainsi, **les résultats des études sur la relation entre l'intensité et le risque de blessure divergent**. Cela peut être lié aux différentes manières dont l'intensité est évaluée :

- Echelle RPE auto-déclarée
- % de la VO₂max atteint
- Nombre de séances d'*interval training* pratiquées par semaine

De plus, les études considérées prennent en compte l'intensité moyenne de course sur les sept derniers jours, la progression de l'intensité entre deux semaines ou encore la fréquence à laquelle des séances intenses sont pratiquées, mais ne prennent pas en compte la variation de l'intensité au sein même d'une séance ainsi qu'entre deux sessions. Il est pourtant probable que cette variation joue un rôle dans la relation entre l'intensité de l'entraînement et le risque de développer une blessure. Pour résoudre ce problème, il faudrait mesurer objectivement l'intensité, plusieurs fois par séance et à l'issue de chaque session de course à pied. Cela semble particulièrement chronophage et difficilement applicable.

Malgré ces hétérogénéités, il est possible de se demander si l'association retrouvée dans les études rapportant des résultats statistiquement significatifs est causale. Pour répondre à cette question, il faut impérativement mettre en balance les résultats observés avec la qualité des études réalisées. De plus, le recours aux critères de Hill paraît inéluctable.

La **qualité méthodologique** des études mises en cause est considérée comme **moyenne à élevée** (cf. Graph 1). Des items ont en effet été considérés comme présentant un risque de biais modéré en raison de participants perdus de vue sans cause explicite, de l'évaluation du critère de jugement qui, selon nous, n'est pas suffisamment objective, ainsi qu'en raison de variables de confusion manquantes, c'est-à-dire non prises en compte dans la conception de l'étude (cf. Tab 10). Ce dernier point est celui qui est le plus déplaisant. En effet, les explications relatives aux participants perdus de vue importent peu compte tenu du faible taux de participants non suivis. De même, le fait d'attribuer un risque modéré à la manière dont est évalué le critère de jugement est principalement subjectif. Pour rappel, les blessures ont été déclarées sous forme d'auto-rapport, ce qui a été jugé insuffisant. Cependant, si on se réfère à la définition d'une blessure dans les études menées par Kluitenberg et Hespanhol, on observe qu'elle est définie par une douleur (cf. Tab 8). L'auto-rapport paraît être le seul moyen légitime pour définir une douleur ressentie par un individu. Néanmoins, Kluitenberg ne prend en compte dans son étude que trois facteurs de confusion, tous relatifs à la charge externe. Cela est très insuffisant puisqu'à ce jour de nombreux autres déterminants sont connus des chercheurs. Malgré cela, on estime tout de même que **la qualité des trois études relevant des résultats significatifs est suffisamment élevée pour pouvoir traiter les résultats adéquatement**.

De surcroît, le critère de temporalité est respecté puisque **le facteur de risque précède l'apparition de la blessure** dans chacune de ces études, étant donné qu'il s'agit de cohortes prospectives.

Ajouté à cela, **les résultats semblent plausibles et cohérents**, car compatibles avec les connaissances actuelles. Une augmentation concomitante des blessures et de l'intensité de l'entraînement respecte en effet le sens commun biologique et ne contredit aucune théorie existante [81]. Cependant, la relation entre la pratique de l'*interval training* et le faible taux de blessures retrouvé dans d'autres études laisse perplexe [82,87]. Pour rappel, l'*interval training* est une méthode d'entraînement qui implique l'alternance de périodes d'exercice intense et de périodes de récupération active ou passive. Il est possible de penser que l'*interval training* est associé à moins de blessures chez les novices car la plupart des coureurs amateurs qui pratiquent le HIIT passent certainement d'une intensité de course "normale" à une intensité plus faible, souvent traduite par de la simple marche. Ainsi, l'intensité d'entraînement totale au cours d'une séance de course donnée apparaît moyenne, diminuant les risques de blessure. Toutefois, ce raisonnement est partiellement faux. L'intensité perçue par le sportif

est dans ce cas-là un paramètre relevant, à notre sens, de la subjectivité. Affirmer qu'une séance de HIIT se traduit par une intensité de course modérée chez un coureur amateur est une mauvaise déduction. Elle est probablement très élevée car ce dernier n'a pas l'habitude de pratiquer ce type d'entraînement, étant inexpérimenté. L'acronyme HIIT, traduit en français, signifie « *entraînement fractionné de haute intensité* ». Il est absurde de penser que, parce qu'il est novice, un coureur inexpérimenté ne peut pas effectuer d'entraînement intense. En revanche, un entraînement intense pour un novice peut être considéré comme facile pour un autre coureur. Se pose alors la question d'une mesure efficiente de l'intensité de course. Devrait-elle être mesurée systématiquement de manière objective, par exemple exprimée en pourcentage de la VO_{2max} atteint, afin d'éviter ce genre de litige ? L'intensité est-elle uniquement subjective et relève-t-elle de la charge interne, comme proposé précédemment dans l'introduction ? Les auteurs sont invités à davantage réfléchir à ce genre de problématique afin de faire évoluer le domaine par la mise en place de mesures fiables et standardisées. Finalement, il est possible de penser que ***l'interval training réduit le risque lésionnel*** pour les raisons suivantes :

- ❖ **Renforcement des structures musculo-tendineuses** : Les périodes d'exercice intense sollicitent davantage les muscles et les tendons que l'entraînement continu à faible intensité. Cela peut aider à les renforcer et ainsi à réduire le risque de lésions.
- ❖ **Réduction de la charge d'entraînement** : *L'interval training* permet de réduire la charge d'entraînement totale en répartissant l'effort sur des périodes plus courtes, pouvant contribuer à prévenir les blessures de surcharge.
- ❖ **Amélioration de l'endurance musculaire** : Les périodes d'exercice, suivies de périodes de récupération, pourraient permettre d'améliorer l'endurance musculaire. Il est possible de penser qu'une meilleure endurance aide à prévenir les blessures liées à la fatigue [94].
- ❖ **Augmentation de la densité osseuse** : *L'interval training* pourrait favoriser la croissance et la densité osseuse, réduisant ainsi le risque de fractures de stress [95].

En outre, **une relation dose-effet accroît la vraisemblance d'une association causale**. Dans l'étude de Kluitenberg, il est indiqué que plus l'intensité augmente, plus le risque de blessure est important. Néanmoins, notons qu'aucun résultat chiffré en ce sens n'est présenté aux lecteurs si ce n'est l'intensité moyenne de course chez les participants au cours du programme (12,1/10 sur l'échelle RPE). Dans les études conduites par Hespanhol et Van Middelkoop, il est question de fréquence d'*interval training* par semaine. La première de ces études indique que pratiquer ce type d'entraînement une fois par semaine est bénéfique. Au delà d'une fois par semaine, aucune donnée n'a pu être communiquée puisque les participants étaient libres de courir comme ils le souhaitent et qu'ils ont fait le choix de ne pratiquer *l'interval training* qu'une fois par semaine, au maximum. La seconde étude indique qu'il faudrait pratiquer tous les entraînements de cette manière afin d'éviter les blessures.

Par ailleurs, **certains critères de Hill ne sont pas respectés**. On sait qu'une association importante est plus probablement causale. En vue des résultats précédemment énoncés, nous pouvons penser que **l'association est insuffisamment forte**, les *odds ratios* et *hazard ratios* présentés étant relativement proches de la valeur 1 (cf. Tab 11,12,14).

Aucune analogie ne peut être faite entre ces résultats et ceux d'une autre étude, à notre connaissance. De plus, **les résultats trouvés ne sont pas constants**. En effet, seules trois études sur cinq incluses associent significativement le risque de blessure à l'intensité de course.

De la même manière, **la spécificité de la relation** entre l'intensité et le risque de blessure **ne peut pas être prouvée** puisque certains facteurs de confusion ne sont pas contrôlés. Kluitenberg a uniquement

inclus les paramètres de l'entraînement au sein de l'analyse multivariée réalisée, omettant ainsi les caractéristiques démographiques des participants dans l'ajustement statistique. Ajouté à cela, notons que 33,6% des individus inclus avaient d'ores et déjà subi une blessure par le passé. Hespanhol et Van Middelkoop ont, pour leur part, incorporés dans leurs études respectives dix variables de confusion, intrinsèques comme extrinsèques. A elles deux, elles incorporent ainsi plusieurs déterminants essentiels. Pourtant, elles négligent certains facteurs primordiaux comme l'âge ou le genre.

Enfin, **aucune expérimentation n'a permis de conclure sur une telle relation**. L'essai clinique randomisé réalisé par Ramskov [92] n'a en effet démontré aucune association significative de la sorte. Les résultats prouvent qu'une augmentation progressive de l'intensité hebdomadaire de course entraîne moins de blessures qu'une augmentation progressive du kilométrage hebdomadaire. Cependant, les résultats énoncés sont insuffisamment précis, et le nombre de blessés dans les deux groupes d'entraînement est sensiblement identique, malgré des tailles d'échantillon similaires.

En définitive, il n'est **pas possible d'affirmer une relation de causalité** entre l'intensité de course et le risque de développer une blessure, même si une **intensité subjective élevée** semble associée à un **risque** accru, tandis que la pratique de **l'interval training** semble **en faveur d'une protection** des coureurs.

4.1.1.2. Fréquence

Les **résultats** des études sont également **contradictoires** en ce qui concerne la relation entre la fréquence d'entraînement et le risque de se blesser.

Van Poppel [86] a constaté un risque accru chez les coureurs préparant un 10-15km, qui couraient en moyenne 2,4 jours par semaine. Deux autres études affirment également que s'entraîner à une fréquence faible est précurseur de blessures. En effet, un risque important chez les coureuses s'entraînant uniquement une fois par semaine a été démontré [88]. De même, Malisoux [91] assure que s'entraîner moins de deux fois par semaine est associé à un risque de blessure majoré. Des réserves sont cependant émises à l'égard de cette théorie puisque l'étude réalisée par **Taunton** présente une **faible qualité méthodologique**. En effet, l'auteur ne fournit pas les raisons des pertes de suivi alors que le taux de participants ayant abandonné est élevé. Aucune description adéquate des caractéristiques clés des participants perdus de vue n'est mise à disposition. De cette manière, impossible de savoir si les individus ayant terminé l'étude et ceux qui ne l'ont pas fait diffèrent. De plus, les variables de confusion prises en considération au sein des ajustements statistiques sont insuffisantes et aucune méthode appropriée n'a été utilisée afin de remplacer d'éventuelles données manquantes. Finalement, les résultats sont présentés sélectivement.

Des réserves doivent également être émises à l'égard de ce modèle, car d'autres études n'associent pas significativement la fréquence de course au risque de développer une blessure [81,82,89]. De plus, il est possible de penser que les risques ne sont pas les mêmes pour une personne courant trois fois par semaine, selon trois séances consécutives, qu'une personne courant trois fois par semaine, chaque séance étant espacée d'un ou plusieurs jours de repos. Des précisions en ce sens sont nécessaires.

L'association observée, dans certaines études, entre la fréquence de course et le risque de développer une blessure est-elle causale ? Telle est la question qu'il faut désormais se poser.

Premièrement, il est possible d'observer que la **force de l'association** n'est **pas toujours importante** dans les études présentant des résultats significatifs. C'est notamment le cas de l'étude réalisée par Van Poppel. Malgré les déclarations des auteurs relatifs à la significativité des résultats, l'association n'est en réalité pas significative, puisqu'elle est estimée à 1,3 avec un intervalle de confiance compris

entre 0,99 et 1,7 (cf. Tab 18). Par ailleurs, Taunton et Malisoux présentent des associations importantes. Cependant, notons que le résultat énoncé par Taunton est insuffisamment précis (cf. Tab 19,21).

Les résultats semblent plausibles. En effet, un stress mécanique insuffisant engendre une fragilisation et un déconditionnement tissulaire. On sait par exemple que l'allègement du volume d'entraînement a pour conséquence une diminution de la densité minérale osseuse [40]. Un stress excédentaire présente, quant à lui, pour effet d'altérer les tissus, conduisant à un risque élevé de blessure. Aucun résultat en ce sens n'est ici exposé. Néanmoins, nous restons convaincus que l'idéal serait de rester dans une zone qui permettrait une adaptation et une augmentation de la tolérance tissulaire, un juste milieu.

D'autre part, les études citées étant toutes des cohortes prospectives, **le critère de temporalité énoncé par Hill est respecté.**

Les résultats ne sont **pas tous en faveur de constats similaires**, et **aucune analogie** n'a pu être faite entre les résultats trouvés et ceux d'une étude préalablement réalisée. Dans une revue précédente, c'est au contraire chez les individus s'entraînant très fréquemment, 6 à 7 fois par semaine, qu'un risque accru de blessures a été identifié [57]. Notons que cela ne contredit pas le modèle supposé, et qu'une tendance en ce sens a également été identifiée dans l'étude de Kluitenberg, malgré des résultats non significatifs. Il aurait été intéressant de connaître les résultats des analyses brutes de l'étude conduite par Malisoux pour des fréquences de course supérieures ou égales à 2 séances hebdomadaires, dans le but de confirmer cette orientation.

Ajouté à cela, **il se peut que la relation ne soit pas spécifique.** En effet, pour qu'elle le soit, il faut que l'apparition de la blessure soit liée à un facteur de risque particulier. Malgré les ajustements statistiques effectués dans les études incluses, il est très difficile, notamment dans le domaine de la course à pied, de contrôler tous les facteurs de confusion, c'est-à-dire toutes les variables qui pourraient influencer le résultat final. Les auteurs choisissent généralement de contrôler les potentiels facteurs de risque de blessures déjà étayés par la science. Cependant, une part de subjectivité semble subsister dans le choix des facteurs à inclure, puisqu'on trouve dans les études des facteurs divers et variés. Taunton en inclus huit au sein de ses analyses et Malisoux trois seulement. Parmi ces études, seul l'âge est unanimement pris en compte. Pourtant, l'âge est loin d'être le seul facteur de confusion connu. De plus, notons que des facteurs de risque encore méconnus existent certainement. Nous comprenons la difficulté de concevoir un tel modèle compte tenu de la quantité importante de déterminants en présence.

De plus, **aucune expérimentation aux résultats significatifs** n'a été conduite sur les coureurs novices incluant la variable « fréquence d'entraînement » à notre connaissance. Cela aurait été intéressant afin d'apporter une preuve expérimentale complémentaire.

En définitive, une **association entre une fréquence d'entraînement faible**, inférieure à deux jours par semaine, **et le développement de blessures** semble exister mais il n'est **pas possible d'affirmer** à ce jour **que cette relation est causale.**

4.1.1.3. Durée

Certaines études s'accordent à dire que **courir** relativement **longtemps**, c'est-à-dire plus de soixante minutes [81] ou plus de deux heures [91] par semaine, **serait préférable.** En effet, Kluitenberg affirme que courir plus de soixante minutes au cours des sept jours précédents présente un effet protecteur sur la survenue future d'une blessure ou d'une première douleur. Malisoux assure quant à lui qu'un

volume hebdomadaire de course inférieur à deux heures est associé à un taux de blessure majoré. Cependant, **les avis divergent** à ce sujet. Deux études incluses au sein de cette revue n'ont trouvé aucune association significative entre la durée d'entraînement et l'apparition d'une blessure [89,90], une autre a mis en évidence une association négligeable [82].

Il est important de savoir si les associations observées sont causales puisque, si c'est le cas, nous pourrions conseiller aux sportifs de courir plus longuement afin d'éviter les lésions.

A première vue, nous pourrions penser que l'association est en effet causale. Les **qualités méthodologiques** des études, **moyenne et élevée**, ainsi que les **forces d'association**, alliées à leurs **précisions statistiques** laissent présager une relation de cause à effet (cf. Tab 24,29).

De plus, **les résultats semblent en faveur de temps de course hebdomadaires plus longs**. La **théorie des adaptations tissulaires** pourrait expliquer le phénomène observé. On sait que les adaptations tendineuses se traduisent par une augmentation d'épaisseur, et que cette dernière est corrélée à la durée de l'entraînement [25–27]. Stresser les tissus, sans excès, permet de les solidifier progressivement. Cela sous-entend que courir plus de deux heures par semaine n'est pas considéré comme un stress excédentaire. Il faudrait alors définir, par l'intermédiaire de nouvelles études, ce que représente une durée excédentaire favorisant les blessures. Il aurait également été intéressant de connaître le moment d'apparition des blessures chez les participants au cours des programmes afin de définir un modèle de risques plus précis.

En outre, **le critère de temporalité énoncé par Hill est respecté** dans chacune des études puisqu'il s'agit de cohortes prospectives.

Finalement, **une analogie peut être effectuée** entre les résultats trouvés ci-dessus et ceux d'études préalablement réalisées. Il est mentionné dans une revue récente qu'un faible nombre d'heures d'entraînement hebdomadaire présente une association de taille d'effet importante sur l'augmentation du taux de blessures et/ou de douleur [41].

Cependant, **la relation** entre la durée d'entraînement et le risque de développer une blessure **n'est certainement pas spécifique**, compte tenu des **nombreux facteurs de confusion subsistants**. En effet, Kluitenberg inclut uniquement le volume, l'intensité et la fréquence d'entraînement comme potentiels facteurs de confusion au sein de ses analyses. Malisoux prend quant à lui en considération l'IMC, les blessures antérieures et l'expérience de course. Il est d'ailleurs intéressant de noter que les blessures antérieures ont été identifiées, dans cette étude, comme un modificateur de l'effet sur le volume. De plus, une synergie négative a été trouvée entre l'indice de masse corporelle et le volume hebdomadaire de course. Ces résultats suggèrent qu'un ajustement statistique incluant ces deux variables est indispensable. A elles deux, ces études parviennent à prendre en compte plusieurs facteurs de confusion primordiaux. Cependant, elles omettent d'autres déterminants tels que le genre, l'âge ou encore le type de chaussures utilisé.

De plus, l'essai clinique randomisé inclus ne fournit **aucune preuve expérimentale** permettant de valider les résultats observés [93]. En effet, aucune différence significative n'a été trouvée entre les deux groupes étudiés. Pour rappel, il s'agissait dans cette étude de comparer un groupe d'entraînement standard, évoluant sur 8 semaines, à un groupe d'entraînement gradué, évoluant sur 13 semaines et respectant la règle de progression des 10%.

En définitive, il serait conseillé de **courir plus de deux heures par semaine pour éviter de se blesser**, malgré **l'impossibilité d'établir une relation de cause à effet spécifique**. Il serait intéressant, dans de futures recherches, d'étudier la durée de course sur la fréquence ou sur la distance hebdomadaire, afin d'aboutir à des recommandations plus précises. Une seule étude incluse au sein de cette revue a

analysé les données de cette façon. En effet, Van Middelkoop étudie la relation entre la distance sur la durée hebdomadaire de course et le risque de blessures, ainsi que la relation entre la distance sur la fréquence hebdomadaire de course et le risque de se blesser. Cependant, aucun résultat significatif en faveur de telles relations n'a été retranscrit.

4.1.1.4. Vitesse

Van Poppel [86] a étudié la relation entre la vitesse de course et le risque de développer une blessure. Les résultats de cette étude n'indiquent **aucune relation statistiquement significative** entre ces deux variables. Nous pourrions pourtant penser que la vitesse de course exerce une influence sur le risque de se blesser et que ce paramètre pourrait être lié à l'intensité de l'entraînement, dont l'association avec les blessures a précédemment été énoncée.

Dans plusieurs revues, l'intensité d'entraînement est d'ailleurs confondue avec la vitesse de course. Nous avons présentement fait le choix de séparer la vitesse de l'intensité car il s'agit selon nous de deux paramètres distincts. En effet, la vitesse représente « *le fait d'accomplir une action en peu de temps* »²⁰ tandis que l'intensité représente le « *degré d'activité, de force ou de puissance* »²¹. Cependant, malgré cette différence, nous pouvons aisément penser que l'augmentation de la vitesse de course est inéluctablement corrélée à celle de l'intensité. Quelque chose d'intense est quelque chose « *qui agit avec force, est porté à un haut degré* »²². Selon cette définition, un entraînement intense peut être un entraînement porté à un haut degré de vitesse. Certaines montres, comme la Coros Paces 2, proposent d'ailleurs de paramétrer l'intensité d'entraînement à suivre en fonction de l'allure de course.

En outre, un entraînement intense pourrait aussi correspondre à un entraînement porté à un haut degré de fréquence, de durée ou de distance. Comme expliqué précédemment, l'intensité serait davantage une réponse physiologique et psychologique à la charge externe, incluant les différents paramètres d'entraînement, dont la vitesse de course.

4.1.1.5. Distance

Plusieurs auteurs ont précédemment suggéré qu'un kilométrage hebdomadaire élevé est associé à un risque accru de se blesser [56,96]. Pourtant, les résultats de l'examen systématique actuel apparaissent contradictoires à ce sujet. Sept articles [83–87,90,97] inclus au sein de cette revue ont étudié le paramètre « distance » comme potentiel facteur de risque de blessures. Trois d'entre elles ont indiqué que la distance était un facteur de risque statistiquement significatif.

Dans l'étude menée par Van middelkoop [87], une distance hebdomadaire de course inférieure à 40 kilomètres est apparue comme un facteur protecteur des blessures localisées au mollet, sachant que très peu de participants à cette étude couraient moins de 32km par semaine (cf. Tab 35). Bovens [84] a quant à lui mis en évidence une association entre la distance d'entraînement et le risque de développer une blessure, dont le sens n'est pas mentionné. Enfin, Van Poppel [86] a trouvé une très faible association entre la distance moyenne réalisée à l'entraînement et le risque lésionnel chez les coureurs préparant un 5km, un 10-15km, ainsi que chez les marathonniens (cf. Tab 34). Ces derniers parcouraient en moyenne et respectivement les distances hebdomadaires suivantes à l'entraînement : 12km, 20km, 46,5km.

²⁰ Le Robert. Définition vitesse [En ligne]. 2023 Jan 4 [cité le 11 Avril 2023].

²¹ Le Robert. Définition intensité [En ligne]. 2022 Dec 19 [cité le 11 Avril 2023].

²² Le Robert Définition intense [En ligne]. 2023 Fev 14 [cité le 11 Avril 2023].

Peu d'études ont étudié la progression hebdomadaire de la distance de course, exprimée en pourcentage de changement. Cela semble pourtant plus pertinent que d'étudier simplement la distance de course parcourue en une semaine puisque cette dernière peut varier d'une semaine à l'autre et connaître des changements importants. Plusieurs articles de synthèse ont proposé la "règle des 10 %" dans le but d'atténuer le risque de blessure, en recommandant une augmentation maximale de 10 % du volume hebdomadaire d'entraînement. L'étude menée par Nielsen [85] a également examiné l'effet de cette règle chez des coureurs novices. Bien que cela ne soit pas significatif, les participants blessés ont connu une augmentation moyenne du volume d'entraînement plus importante que les coureurs indemnes.

Il est nécessaire de noter que la règle des 10 % n'est qu'une directive générale et qu'elle ne peut pas convenir à tous les coureurs. Certains coureurs pourraient être capables d'augmenter leur volume hebdomadaire de plus de 10 % sans augmenter pour autant leur risque lésionnel, tandis que d'autres pourraient être plus sensibles aux variations de volume et devraient ainsi suivre une augmentation plus progressive. Les adaptations musculo-squelettiques suite à un entraînement varient en effet entre individus.

Quatre autres études ont remis en question la fiabilité du kilométrage en tant que prédicteur de blessures puisque les auteurs n'ont rapporté que des résultats non significatifs [82,83,90,92].

Malgré une majeure partie des résultats non significatifs, la méta-analyse réalisée a permis de mettre en évidence un modèle de risque : **courir plus de 30 km par semaine serait préférable** (cf. Tab 43). Ce résultat peut être expliquée par la **théorie des adaptations tissulaires**. Il est possible de penser que de courtes distances hebdomadaires ne permettent pas de préparer les tissus de manière efficiente aux contraintes imposées par la course. Cependant, les mécanismes lésionnels à l'origine des blessures les plus fréquemment rencontrées en course à pied, qui ont été énoncés dans l'introduction, semble aller à l'encontre de cette théorie. Rappelons que les microtraumatismes répétés sont considérés comme la principale cause de dégénérescence tendineuse [71], que la fasciopathie plantaire est induite par un stress trop important [98], et que les impacts répétés générés par la course seraient associés au risque de développer une périostite tibiale [68]. Ainsi, il faudrait approfondir les recherches afin de mettre en évidence une distance hebdomadaire de course à ne pas dépasser, autrement dit il faudrait définir ce que représente un stress excédentaire.

Prouver qu'une distance de course trop élevée ou trop faible est associée de manière causale au risque de blessures paraît compromis. Malgré le fait que les résultats de trois études soient significatifs, les critères de Hill ne sont pour la plupart pas respectés, les **résultats étant trop hétérogènes, inconstants**.

Le **risque de biais** est relativement **faible** puisque les études relevant des résultats significatifs présentent des qualités méthodologiques considérées comme modérées à très élevées. Notons cependant que le risque relatif à la prise en compte des variables de confusion a été considéré comme élevé dans l'étude menée par Bovens, pouvant porter préjudice aux résultats finaux.

Le critère de temporalité énoncé par Hill est respecté puisque les études incluses sont toutes des cohortes prospectives.

Néanmoins, **il n'a pas été possible d'établir une analogie** entre les résultats de ces études et ceux d'études supplémentaires.

De plus, **la force de l'association n'est pas suffisante**. Les coefficients de corrélation énoncés par Bovens correspondent en effet à des associations modérément fortes (cf. Tab 3). Les associations retrouvées dans les études de Van Poppel et Van Middelkoop sont faibles (cf. Tab 34,35).

La spécificité de l'association n'est pas certaine. Malgré les restrictions de population utilisées par les auteurs, ainsi que les ajustements statistiques employés par chacun, il n'est pas possible d'affirmer que l'association est spécifique compte tenu des nombreux facteurs de confusion non pris en considération. Van Middelkoop prend en compte dix facteurs de confusion dans son analyse statistique, Van Poppel vingt-deux, tandis que Bovens ajuste ses résultats seulement en fonction de quatre facteurs : âge, IMC, pourcentage de graisse corporelle et historique de blessure antérieure. Cela laisse entrevoir des disparités entre les études incluses et nous questionne sur les facteurs de confusion indispensables à inclure au sein des analyses statistiques. Il est possible de penser que Bovens a manqué de nombreux facteurs confusionnels, pouvant engendrer des résultats non représentatifs de la réalité. Rappelons que cette étude a été réalisée en 1989. A l'époque, certains facteurs de risque étaient certainement méconnus des chercheurs.

Enfin, pour être sûr des résultats énoncés, **il aurait fallu obtenir une preuve expérimentale.** L'essai contrôlé randomisé, réalisé par Ramskov [92], ne présente aucun résultat significatif relatif à la distance parcourue. En effet, les résultats énoncés indiquent un taux de blessures légèrement plus élevé dans le groupe « volume » par rapport au groupe « intensité ». Cependant, les différences sont très faibles et les résultats insuffisamment précis (cf. Tab 39). Ainsi, **nous ne pouvons pas affirmer avec certitude que la relation entre la distance d'entraînement et le risque de blessure est causale.**

4.1.1.6. Mesure des paramètres de l'entraînement

Les méthodes utilisées pour collecter des informations sur les données d'exposition sont similaires dans la plupart des études incluses dans cette revue. En effet, des questionnaires, des enquêtes ou des journaux d'auto-évaluation ont été utilisés afin de collecter les informations sur l'exposition. À cet égard, cette dernière peut avoir été estimée ou déclarée de manière incorrecte en raison d'un biais de rappel. L'utilisation de nouvelles technologies, telles qu'un système de positionnement global (GPS), pourrait fournir des données davantage objectives et précises. Cependant, l'utilisation de ces technologies est encore relativement récente dans la recherche sur les blessures liées à la course, leur utilisation n'est pas généralisée. De plus, certaines limites peuvent subsister, telles que les pertes de signal GPS dans certaines zones. L'utilisation de technologies plus objectives pour mesurer les variables d'entraînement peut tout de même être une piste intéressante pour améliorer la qualité des études futures.

4.1.2. Hétérogénéité des études incluses

4.1.2.1. Populations

Tous les participants inclus respectaient les critères d'inclusion précédemment énoncés dans cette revue. En effet, tous étaient des coureurs adultes récréatifs, amateurs, novices et/ou inexpérimentés. Cependant, **certains critères d'inclusion différaient d'une étude à une autre** (cf. Tab 5). Notons par exemple que l'étude de Van Middelkoop [87] incluait uniquement des hommes ou encore que certaines études choisissaient d'exclure les adultes de plus de 65 ans [81,83,85,89,92]. D'autre part, dans plusieurs articles, l'IMC moyen de la population incluse était situé au-delà des normes, c'est-à-dire supérieure à 24,9 [81,83,85]. En outre, on remarque que certaines études exigeaient des participants qu'ils soient indemnes de toute blessure au commencement du programme [82–84,92,93,99], tandis que les autres acceptaient des participants blessés. On sait pourtant qu'un antécédent de blessure antérieure est le facteur de risque non modifiable le plus fréquemment identifié dans les études relatives à la course à pied à ce jour [56,100,101]. Le groupe de consensus de l'*International Amateur Athletics Federation* (IAAF) a également identifié ce facteur comme contributif à une blessure future [41].

Un autre point important à souligner est le fait que **la définition du niveau de course diffère d'une étude à une autre**. Rappelons que nous avons fait le choix d'étudier spécifiquement les coureurs récréatifs, amateurs, novices et/ou inexpérimentés puisqu'une faible expérience en course à pied et un mauvais encadrement augmenteraient l'occurrence des blessures. De plus, les coureurs amateurs sont ceux majoritairement rencontrés en cabinet libéral. Malgré le fait que l'ensemble des études incluses aient eu le souci d'intégrer uniquement des coureurs inexpérimentés, ces populations ont toutefois pu différer car les définitions du niveau d'un coureur restent à ce jour équivoques. Les coureurs étaient considérés comme récréatifs tanto s'ils avaient pratiqué la course à pied sur une base hebdomadaire au cours des douze mois précédents [99], tanto s'ils avaient couru une à trois fois par semaine sur au moins six mois consécutifs [92]. En outre, selon la définition énoncée par Nielsen [83], un coureur inexpérimenté est une personne ayant effectué des séances d'entraînement couvrant une distance totale inférieure à 10 km au cours des douze mois précédents.

Les autres études incluses n'ont pas eu le souci de définir clairement le niveau de course à pied. Ces dernières prétendent inclure uniquement des coureurs novices, récréatifs, inexpérimentés, mais recrutent les participants en postant simplement des articles dans des journaux, en invitant des coureurs par mail lorsque ces derniers s'inscrivent à des courses ou encore en les contactant via certains médias. Cela semble insuffisamment précis. De cette manière, tous types de coureurs peuvent se retrouver au sein d'une étude supposément spécifique aux coureurs inexpérimentés.

Il est évident que tous ces paramètres sont à prendre en considération puisqu'ils témoignent de **l'hétérogénéité des populations incluses** dans les différentes études retenues. Ils pourraient représenter une **source de biais importante**. En effet, nous avons préalablement démontré l'importance de facteurs modificateurs, comme le sexe, l'âge, l'expérience, l'IMC ou les blessures antérieures, sur la relation existante entre les paramètres de l'entraînement et le risque de développer une blessure ou une douleur liée à la course.

4.1.2.2. Programmes de course et durée de suivi

Six études [81,84,88,89,92,93] proposaient aux coureurs un **programme de course précis**, que ces derniers devaient suivre avec assiduité, tandis que sept autres [82,83,85–87,90,91] laissaient aux sportifs la liberté de courir selon leur **programme personnel** (cf. Tab 6). Cela atteste inéluctablement de **l'hétérogénéité dans la conception des études** incluses et pose certaines questions importantes.

Il est possible de se demander si les programmes de course, qui ont été conçus par différents professionnels de la santé et du sport, ont été "correctement" élaborés. Certains de ces programmes prétendent être préventifs vis-à-vis des blessures. Comment puis-ce être le cas si actuellement aucune donnée scientifique n'atteste avec certitude la manière la plus sûre de s'entraîner, la gestion la plus optimale des paramètres de l'entraînement ? Les programmes proposés semblent s'appuyer sur des données scientifiques distinctes puisqu'ils diffèrent sur plusieurs points : fréquences d'entraînement variables, durées de course hétérogènes... De plus, les programmes sont souvent incomplets et omettent de définir certains paramètres de course. Certaines études précisent uniquement la fréquence à laquelle doivent courir les participants.

Notons également qu'il est difficile de savoir, lorsqu'un programme est prescrit, si le participant l'a suivi assidûment. Il arrive qu'une séance par semaine soit supervisée par un professionnel, un entraîneur d'athlétisme agréé par exemple. Cependant, le reste de la semaine, les séances sont effectuées en autonomie et il est impossible de vérifier l'exactitude des informations communiquées relatives aux paramètres de l'entraînement.

Il serait préférable de laisser les sujets courir librement, sans programme préétabli, et d'enregistrer

leurs paramètres à l'aide d'un GPS ou tout autre système permettant une meilleure objectivation des données.

La durée de suivi pose aussi certaines interrogations. Dans cette revue, les articles qui ont été inclus présentaient des **durées de suivi variables**, allant d'un à vingt mois. Nous pouvons nous demander si un mois est suffisant pour noter l'apparition d'une blessure. Une durée de suivi optimale semble très difficile à définir dans ce domaine puisque chaque individu ne présente pas les mêmes capacités d'adaptation et de résistance tissulaire. De ce fait, chacun pourrait se blesser plus ou moins rapidement après avoir débuté un programme de course. Nous pensons tout de même qu'**il serait préférable de suivre les individus le plus longtemps possible**, afin de pouvoir observer un maximum de participants blessés, même ceux qui le sont au bout de plusieurs mois d'activité. Cela permettrait de mieux appréhender le modèle de risques.

4.1.2.3. Définition des blessures liées à la course et méthodes diagnostiques

L'**abondance des définitions** d'une blessure utilisées dans les études de cette revue **peuvent influencer les résultats et entraver la comparabilité des études entre elles** (cf. Tab 8). Le critère de jugement communément adopté par toutes les études retenues est la survenue d'une blessure ou d'une douleur en lien avec la course à pied. Toutefois, il convient de souligner que les définitions de ces blessures varient considérablement d'une étude à une autre. Certaines définitions prennent en compte la notion de douleur, tandis que d'autres ne le font pas. Certaines incluent uniquement les blessures des membres inférieurs, tandis que d'autres englobent également celles situées au dos. Beaucoup définissent une blessure par ses répercussions négatives sur les performances sportives, tandis que d'autres se basent sur la nécessité d'interrompre l'entraînement pendant une période allant d'un jour à une semaine, ou la nécessité de consulter un professionnel de santé. Ces fluctuations ont été soulignées comme une préoccupation tant par le Comité International Olympique (CIO) que par l'*International Amateur Athletics Federation* (IAAF). Ces derniers ont en effet relevé la **nécessité de s'accorder sur une définition standardisée et fiable**, afin d'améliorer la compréhension de la prévalence des blessures [102,103].

D'autre part, nous remarquons qu'une blessure est largement définie par le concept de douleur. En effet, dans la plupart des études incluses les mots « *pain* » et « *complaint* » sont employés pour définir une blessure liée à la course. Cependant, rappelons qu'il s'agit de deux notions distinctes, bien que souvent enchevêtrées. La douleur n'est pas systématiquement corrélée à la présence de lésions et inclut inéluctablement une notion de subjectivité. Il existe des disparités interindividuelles dans la perception de la douleur et son seuil de tolérance. Certains coureurs développent des douleurs et d'autres n'en développent pas pour le même niveau de sollicitation ou de lésion. De plus, il est important de prendre en considération les biais susceptibles d'être présents lorsque ces douleurs sont auto-déclarées, comme ce fut le cas au sein de neuf des treize études incluses au sein de cette revue [81,84,86,87,89–91,93,97].

Nous pensons qu'**il serait préférable de définir une blessure par une lésion réelle, objectivée** au cours d'un examen médical et/ou par une imagerie. Nous pensons tout de même que prendre en considération la douleur est important, puisqu'une douleur présage certainement l'apparition future d'une blessure. Des **analyses de sensibilité supplémentaires** devraient ainsi être conduites **en prenant comme critère de jugement la douleur**, comme cela a été fait dans l'étude de Kluitenberg.

4.1.2.4. Hétérogénéité statistique

L'hétérogénéité statistique a premièrement été évaluée par **observation des graphiques en forêt** réalisés. Les *forest plot* permettent effectivement de visualiser les résultats des différentes études

incluses dans une méta-analyse. Ces derniers sont considérés comme hétérogènes si les intervalles de confiance associés aux tailles d'effet calculées ne se chevauchent pas. Cela indique que les effets des études incluses sont significativement différents les uns des autres et que l'hétérogénéité est importante. En étudiant les *forest plot* élaborés dans cette revue, il est possible de considérer qu'il existe une hétérogénéité statistique, étant donné que les intervalles de confiance ne se chevauchent pas intégralement (cf. Tab 40-43).

D'autre part, l'hétérogénéité statistique peut être recherchée par **calcul de l'indice I²**. Ce dernier mesure la proportion de la variance totale entre les études due à l'hétérogénéité plutôt qu'à la variation aléatoire. S'il est élevé, l'hétérogénéité est considérée comme importante. Les résultats des I², pour chaque *forest plot* réalisé, ont été calculés et vous sont remémorés ci-dessous.

- I² (intensité d'entraînement) = **0,78**
- I² (fréquence d'entraînement) = **0,66**
- I² (durée d'entraînement) = **0,89**
- I² (distance d'entraînement) = **0,58**

Pour rappel, l'interprétation du I² s'effectue de la manière suivante :

- I² < 0,25 : hétérogénéité faible
- 0,25 < I² < 0,50 : hétérogénéité modérée
- I² > 0,50 : hétérogénéité importante

Ainsi **les résultats témoignent d'une hétérogénéité statistique importante**, pour toutes les variables étudiées. Cela n'est pas étonnant compte tenu de l'importante hétérogénéité clinique notée. En fin de compte, **l'interprétation des résultats de la méta-analyse nécessite une approche réfléchie et nuancée**.

4.1.3. Risques de biais des études incluses

Afin d'évaluer la qualité méthodologique des **études de cohorte**, la **grille d'évaluation QUIPS** a été utilisée. Cette décision a été motivée par le fait que les items semblaient plus exhaustifs, mieux adaptés aux schémas d'étude évalués et davantage compréhensibles que ceux issus de la NOS et de la PROBAST. Les résultats de l'évaluation des études incluses dans la revue ont montré des scores variables. Parmi les onze études, six ont reçu une évaluation de très haute ou de haute qualité méthodologique, quatre ont été jugées de qualité moyenne, tandis qu'une seule a été considérée comme étant de faible qualité. **Dix études sur onze** ont ainsi obtenu un **score supérieur ou égal à 50%** (cf. Graph 1). Les critères les plus fréquemment utilisés pour déduire des points lors de l'évaluation de la qualité méthodologique étaient les suivants :

- ❖ **Le suivi et l'attribution** : dans la plupart des études, les informations sur les participants perdus de vue n'ont pas été communiquées. De cette manière, les raisons et les impacts pour le suivi restent inconnus à ce jour.
- ❖ **La mesure du critère de jugement** : Le risque de partialité concernant la mesure du critère de jugement a souvent été considéré comme modéré en raison d'une évaluation insuffisamment valide et fiable des blessures, ces dernières étant la plupart du temps rapportées sous forme d'auto-déclaration, sans diagnostic médical associé.

Les **essais cliniques randomisés** ont obtenu des scores révélant une **bonne qualité méthodologique** sur **l'échelle PEDRO**. Les items ayant entraînés une déduction de points étaient les suivants :

- ❖ **Répartition selon une assignation secrète** : Pour rappel, si l'assignation n'est pas secrète, cela peut introduire des biais dans le processus d'attribution et rendre invalide la randomisation. Il existe des données expérimentales sur le fait que l'attribution secrète présente un impact sur la taille de l'effet [104].
- ❖ **Aveuglement** : L'aveuglement est important dans un essai randomisé puisqu'il permet au lecteur de conclure que l'effet apparent n'est ni lié à l'effet placebo, ni à l'effet de Hawthorne, ni à des biais de l'évaluateur, qui auraient affecté la mesure des résultats.
- ❖ **Mesure du critère de jugement obtenue pour plus de 85% des sujets** initialement présents : Il est important que les mesures des résultats soient réalisées sur tous les sujets qui ont été randomisés dans les groupes. Ceux qui n'ont pas pu être suivis peuvent différer par rapport à ceux qui ont été suivis et engendrer un biais. L'ampleur de ce biais croît relativement à la proportion des participants perdus de vue.

4.2. Niveau de preuve

Le degré de fiabilité d'une étude est établi en examinant la qualité de sa conception, qui inclut des éléments tels que le choix du sujet, la population étudiée, les méthodes statistiques utilisées, la présence de biais et la puissance de l'étude, par rapport à la question initialement posée, pour déterminer sa capacité à y répondre. Lorsqu'on combine plusieurs études pour parvenir à une conclusion scientifique, il est important de prendre en compte le niveau de fiabilité de chacune d'entre elles ainsi que la cohérence de leurs résultats.

La Haute Autorité de Santé (HAS) utilise une classification en grades A, B ou C afin d'évaluer la qualité des recommandations. Les recommandations de grade A reposent sur des preuves scientifiques établies par des études de haut niveau, telles que des essais contrôlés randomisés (ECR) de forte puissance ou des méta-analyses incluant des ECR. Les recommandations de grade B se basent sur des présomptions scientifiques, fondées sur des études de niveau de preuve intermédiaire, comme des ECR de faible puissance ou des études de cohorte. Enfin, les recommandations de grade C reposent sur des études de niveau de preuve plus faible, telles que des études cas-témoins ou rétrospectives. Selon la HAS, **la revue de littérature présente est de rang B**, c'est-à-dire fondée sur des présomptions scientifiques [105].

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).

Fig 5 : Niveau de preuve et grade des recommandations, 2013, HAS [100]

En définitive, l'évaluation de la qualité des études incluses ainsi que les recommandations de la HAS imposent une certaine **prudence dans l'interprétation des résultats finaux**.

4.3. Applicabilité des résultats en pratique clinique

Il est concevable de considérer que la prévention n'implique aucun frais puisqu'elle vise à prévenir un problème de santé. Cependant, cette perception est trompeuse, car cette dernière engendre assurément un coût.

La prévention nécessite tout d'abord des **investissements en temps** si elle a le souci d'être bien conduite. Si la prévention concernant la quantification des charges d'entraînement venait à être introduite dans les parcours de soins en kinésithérapie, il faudrait trouver une manière de faire passer de puissants messages en un temps limité.

De plus, la prévention nécessite des **investissements en ressources et en finances** pour procéder à une évaluation des risques, établir des plans d'action, former les individus concernés et effectuer un suivi adéquat. Si la quantification des charges émerge comme facteur protecteur des blessures, il est possible de penser que certains organismes de formation en profitent pour créer de nouveaux cours payants à ce sujet, que ce soit pour les professionnels médicaux, paramédicaux ou encore pour les professionnels issus du milieu sportif. Cela pourrait en un sens créer des richesses, mais par ailleurs entraîner un coût pour toutes les personnes souhaitant se former. Il est important de rappeler l'intérêt d'être vigilant quant aux données scientifiques qui nous sont présentées.

Si le programme de prévention s'avère efficace, **à long terme, les coûts pour la sécurité sociale seraient inexorablement réduits**. En effet, il est primordial de souligner que le coût de la prévention s'avère souvent inférieur à celui de la gestion des conséquences d'un problème qui aurait pu être prévenu.

En somme, bien que la prévention semble être dépourvue de frais, elle génère effectivement des coûts et nécessite du temps. Toutefois, en investissant dans la prévention, il est possible d'empêcher des dépenses plus considérables à long terme.

D'autre part, la prévention sur la quantification des charges d'entraînement laisse apparaître **peu d'effets secondaires**. Toutefois, au-delà du fait que les coureurs pourraient mal comprendre certaines informations et mal appliquer les conseils qui leur sont prodigués, les professionnels de santé pourraient transmettre des informations erronées, encore mal étayées par la science à ce jour, et de ce fait engendrer des effets secondaires sur le risque de blessure encore méconnus.

Il est primordial de se demander si la prévention dans ce domaine est suffisamment pertinente, compte tenu des forces d'association retrouvées au sein des études analysées. Malgré des associations relativement faibles, nous pensons qu'il serait tout de même judicieux d'envisager une prévention relative à la quantification des charges car il s'agit d'une **mesure facile à appliquer, ne présentant aucun effet secondaire connu et pouvant octroyer des économies à long terme**.

4.4. Evaluation de la qualité de la revue

4.4.1. Points forts

La revue de littérature présente détient plusieurs points forts non négligeables, que nous développerons ci-dessous.

→ La recherche initiale d'articles a été effectuée dans les quatre **bases de données gratuites les plus pertinentes** pour répondre à une question de nature étiologique : Pedro, Cochrane Library, Google Scholar et PubMed. De plus, des recherches dans la littérature grise ont été effectuées, des experts ont été contactés et des recherches complémentaires ont été conduites par lecture des bibliographies de revues de littérature traitant d'ores et déjà du sujet.

→ Lors de la recherche initiale d'articles, **aucune restriction de langue, de date ni de lieu** n'a été effectuée, dans le but de rendre la revue la plus exhaustive possible. Nous avons pensé qu'il était préférable d'inclure des articles, même anciens, afin de collecter un maximum d'informations.

→ D'autre part, ce sont principalement des études de **cohorte prospectives** qui ont été incluses, car cette conception d'étude est communément admise comme étant la plus pertinente afin de mettre en lumière des facteurs de risque. Les études cas/témoins, rétrospectives et séries de cas ont volontairement été exclues, car associées à un faible niveau de preuve scientifique. Deux **essais contrôlés randomisés** ont également été intégrés. Le choix de les inclure réside dans leur capacité à établir une preuve expérimentale.

→ Il est rassurant de constater que notre recherche a permis d'identifier un **groupe d'études similaire aux autres revues semblables** dans ce domaine. En effet, les mêmes articles, exceptant les articles portant sur les coureurs compétitifs, professionnels et issus d'autres milieux sportifs, ont été inclus dans notre revue. Cela ne pouvait être autrement puisque nous avons fait le choix de parcourir les bibliographies des revues récentes lors de nos recherches.

→ De plus, cette revue semble **suffisamment exhaustive** puisqu'elle comprend treize articles. Les revues trouvées sur le sujet en comportent respectivement trente-et-un [57], douze [41], quatre [65] et trente-six [64]. Les publications les plus conséquentes englobent l'ensemble des catégories de coureurs, y compris les sportifs de haut niveau. Elles sont, par conséquent, incomparables à ce travail. Notons que les études sur les coureurs novices sont insuffisantes à ce jour. Peut-être est-ce lié au manque de définitions des différents niveaux de course, notions difficilement appréhendables. Il paraît pourtant nécessaire de différencier les coureurs amateurs des coureurs expérimentés, professionnels, compétitifs puisque l'expérience semble être un facteur confusionnel important à prendre en considération, ce dernier pouvant potentiellement biaiser les résultats finaux. Cet élément est d'ailleurs mentionné dans les discussions des revues antérieurement évoquées. De la même manière, la revue présente a eu le souci d'exclure les sportifs professionnels issus d'autres milieux, pratiquant la course à pied régulièrement dans le but d'augmenter leurs performances dans leur spécialité (rugby, football...). Ce choix a restreint considérablement le nombre d'articles inclus, mais semblait pertinent compte tenu du fait que les résultats auraient potentiellement pu être biaisés par des blessures relatives au sport principal pratiqué, plus qu'en relation avec la course à pied elle-même.

→ La **sélection** des articles, l'**extraction** des données ainsi que l'**évaluation de la qualité méthodologique** des études incluses ont été réalisées par une seule personne, **à plusieurs reprises**, afin de n'oublier aucun article susceptible d'être intéressant, ni d'inclure aucune donnée erronée.

→ D'autre part, notre revue a principalement utilisé les résultats d'**analyses multivariées**, et n'a utilisé que des **facteurs de risque** qui ont été **ajustés pour des facteurs de confusion**.

→ La présentation des résultats a été réalisée sous forme de **méta-analyse**, ce qui est, à notre connaissance, une première à ce sujet. Nous avons utilisé une approche rigoureuse, explicite et prospective pour identifier, évaluer, combiner et synthétiser un grand nombre de données complexes dans un format clair et concis.

→ Il est rassurant de voir que **les résultats concordent avec ceux des revues antérieurement réalisées**. En effet, dans les travaux précédents comme dans celui-ci, il n'a pas été possible d'identifier les erreurs d'entraînement liées aux blessures relatives à la course, étant donné que le volume, la durée, l'intensité, la vitesse et la fréquence d'entraînement semblent avoir une interaction complexe entre eux ainsi qu'avec plusieurs autres variables. Un large éventail de facteurs intrinsèques et extrinsèques susceptibles d'avoir un impact sur le risque de blessure et/ou de douleur a été mis en évidence.

→ Enfin, notre revue est, à ma connaissance, la seule portant exclusivement sur les coureurs novices à avoir utilisé **l'approche GRADE** (*Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation*) pour juger de la qualité globale des preuves.

4.4.2. Limites

→ La principale limite de cette revue est la **diversité des méthodologies employées dans les études incluses**. Il existait en effet une grande variabilité dans les définitions d'une blessure et/ou d'une douleur, du niveau de course, de la charge d'entraînement, de l'évaluation et de la collecte des données ainsi que des analyses statistiques conduites.

→ D'autre part, nous avons choisi d'utiliser la **grille d'évaluation QUIPS** afin d'apprécier le risque de biais des études de cohorte incluses, ainsi que la **grille PEDRO** pour évaluer le risque présent au sein des essais cliniques randomisés. Cependant, ces grilles reposent, comme la majeure partie des systèmes d'évaluation des biais, sur une **analyse subjective**. Elles peuvent être interprétées de différentes façons selon les auteurs et ainsi retranscrire des scores distincts pour une même étude. Un certain nombre de décisions subjectives ont en effet dû être prises en raison d'un manque fréquent d'informations sur les aspects méthodologiques. C'est pourquoi la qualité des études n'a pas été utilisée pour leur exclusion. Prenons l'exemple de l'étude de Kluitenberg [81], dont la mesure du critère de jugement a été classée comme étant à faible risque de biais dans une revue précédente [101], tandis que nous avons considéré présentement ce risque comme étant modéré. Cela peut exercer une influence sur la conclusion des résultats finaux.

→ Dans les études incluses, les **facteurs de confusion pris en considération n'étaient pas toujours semblables**. Si l'âge, le genre, l'IMC, l'expérience de course et les blessures antérieures étaient souvent intégrés dans les analyses statistiques, d'autres facteurs tels que le niveau d'éducation, le type de chaussures, la motivation, la consommation d'alcool ou la supplémentation en compléments alimentaires, étaient rarement pris en compte. L'idéal aurait été d'inclure l'ensemble des facteurs de confusion étayés par la science dans chacune des études. Malgré cela, certains facteurs modificateurs inconnus à ce jour continueraient à influencer les résultats.

→ D'autre part, les méthodes de **restriction de population** utilisées dans l'ensemble des études incluses afin de maîtriser les risques de confusion, entraînent inéluctablement **l'inconvénient de ne pouvoir généraliser le résultat** final qu'au seul groupe restreint ainsi défini.

→ Enfin, une méta-analyse à effet aléatoire a été conduite afin d'apprécier la taille d'effet combinée des études incluses. Cette dernière a permis de représenter les résultats simplement, sous forme de graphique en forêt. Cependant, **les résultats issus de cette méta-analyse sont peu exploitables** en raison des **importantes hétérogénéités clinique et statistique documentées**, ce qui explique pourquoi aucune méta-analyse n'avait été effectuée dans ce domaine auparavant.

4.4.3. Biais potentiels

Afin de mettre en évidence les biais potentiels présents au sein de cette revue de littérature, la **grille AMSTAR 2** [106] a été utilisée. Vous trouverez en annexe l'ensemble des items évalués ainsi que les justifications apportées pour chacun d'entre eux (cf. Annexe 10). Un code couleur a été élaboré afin de faciliter sa lecture. Les items verts correspondent aux éléments qui ont été validés, c'est-à-dire bien exécutés. L'unique item orange correspond à une tâche partiellement bien effectuée. En effet, l'item deux exige un enregistrement du protocole, or ce dernier n'a pas été enregistré. Finalement, les items rouges sont ceux qui n'ont pas été pris en considération dans la conception de l'étude. Vous trouverez ci-dessous un résumé de la qualité méthodologique de la revue sous forme d'un tableau récapitulatif.

Items																Score final
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
																12/16

Tab 44 : Synthèse du risque de biais de la revue, évalué à l'aide de la grille AMSTAR 2

5. Conclusion

5.1. Implications pour la recherche

Dans les recherches futures, toutes les variables d'entraînement devraient être mesurées et prises en considération pour une meilleure compréhension de leur relation avec les blessures. Les limitations méthodologiques pourraient être résolues en mesurant objectivement les données d'entraînement, permettant ainsi de mieux définir les variables et leurs interactions.

Par ailleurs, prendre en considération les changements dans les charges d'entraînement d'une semaine à l'autre pourrait être plus pertinent que considérer ces dernières comme fixes. Le calcul des ratios de charge de travail aigu/chronique (ACWR), qui tend à se développer, devrait devenir systématique.

Le fait d'attribuer la cause des blessures relatives à la course uniquement aux charges d'entraînement externes ne permet pas de prendre en compte la multitude de facteurs liés à l'individu, qui varient d'une personne à une autre mais aussi chez la même personne durant un programme d'entraînement. En plus de l'expérience et des adaptations antérieures à l'exercice, des mesures subjectives telles que le stress psychologique, la fatigue et la récupération pourraient également affecter la réponse et l'adaptation d'un athlète. Une liste des principaux facteurs modifiant l'effet des paramètres de l'entraînement sur le risque de blessures d'ores et déjà étayés par la science devrait être établie. De cette manière, les auteurs pourraient systématiquement inclure ces différentes variables dans la conception de leurs études et au sein de leurs ajustements statistiques. La surveillance et la communication des charges internes sont en effet essentielles. Si ces facteurs ne sont pas abordés dans les prochaines recherches, il est probable que les futures revues continuent de conclure des résultats contradictoires. Cependant, la collecte de toutes ces données peut être difficile à mettre en place pour les équipes de recherche.

En outre, il est primordial de s'accorder sur une définition universelle d'une blessure liée à la course afin de pouvoir comparer les résultats de différentes études entre elles. Dans un article de consensus publié en 2015, une RRI a été définie comme suit : « *douleur musculo-squelettique liée à la course (entraînement ou compétition) dans les membres inférieurs qui provoque une restriction ou arrêt de la course (distance, vitesse, durée ou entraînement) pendant au moins 7 jours ou 3 séances d'entraînement consécutives programmées, ou qui oblige le coureur à consulter un médecin ou un autre professionnel de la santé* » [11]. Cette définition pourrait par exemple être adoptée par la communauté scientifique comme critère de jugement standardisé.

D'autre part, les études futures devraient davantage séparer les coureurs par niveau. Cela sous-entend que les niveaux de course devraient être définis plus précisément. De plus, les études ne devraient inclure que des coureurs qui n'ont jamais été blessés car une blessure antérieure a été identifiée comme facteur de risque de blessures dans plusieurs revues récentes.

Nos résultats appellent également à une meilleure standardisation des périodes de suivi. Les études incluses présentaient des durées d'un à vingt mois, rendant les résultats trop hétérogènes pour être généralisés. Des lignes directrices pourraient par exemple inclure des détails sur les blessures subies au cours de chaque période de deux semaines d'un programme de course à pied. Cela pourrait aider à identifier certaines tendances au sujet de l'incidence des blessures.

Notre analyse a mis en évidence la nécessité d'améliorer la qualité des rapports sur les études prédictives dans le domaine. Davantage d'études de cohorte et d'essais randomisés de haute qualité seraient utiles afin de valider la force des preuves repérées.

5.2. Implications pour la pratique clinique

Afin de réduire les taux de blessures et/ou de douleurs chez les coureurs novices, il est important de surveiller les charges d'entraînement en mesurant des variables telles que l'intensité, la distance, la vitesse, la durée et la fréquence de course, dont l'association avec les blessures a été mise en évidence. Cependant, bien que les taux de blessures soient élevés, les preuves sont contradictoires concernant le lien de causalité existant entre les paramètres d'entraînement et l'incidence des blessures liées à la course. En conséquence, il n'existe actuellement aucune recommandation spécifique pour guider la prise de décision clinique et la planification de programmes. Cela est en partie lié à un manque de définitions universelles rendant les études hétérogènes, et il est important de comprendre que les blessures sont multifactorielles et ne peuvent être expliquées exclusivement par l'entraînement.

D'après les résultats, si nous devons émettre des recommandations aux coureurs amateurs, elles seraient les suivantes : il est préférable de courir à une intensité moyenne faible, de pratiquer l'*interval training*, de courir plus de 30 kilomètres par semaine, sur une durée minimale de deux heures, à raison de deux à cinq séances hebdomadaires.

Nous rappelons que ces recommandations sont insuffisamment précises et reposent sur une présomption scientifique. Aucune causalité avérée n'a été établie entre les paramètres de l'entraînement et les blessures liées à la course à pied. Ces dernières nécessitent d'être suivies avec prudence.

Nous recommanderions aux kinésithérapeutes de surveiller attentivement les nouvelles publications à ce sujet, afin d'adapter leurs discours aux éventuelles preuves néo-établies.

Conflits d'intérêts déclarés par l'auteur de cette revue : Aucun

Source de financement de cette revue : Aucune

Conflits d'intérêts déclarés par les auteurs des articles inclus au sein de cette revue : Aucun

Sources de financement déclarées par les auteurs des articles inclus au sein de cette revue :

- Orthopaedic Research Unit, Science and Innovation Center, Aalborg Hospital, Aarhus University, Garmin International [83]
- The Nike International Research Foundation, the British Columbia Sports Medicine Research Foundation [88]
- The National Ministry of Sport, and the National Olympic Committee [91]
- The Danish Rheumatism Association [92]
- The Netherlands Organisation for Health Research and Development [93]

6. Bibliographie

- [1] Bramble DM, Lieberman DE. Endurance running and the evolution of Homo. *Nature* [Internet]. 2004 Nov 18;432(7015):345–52.
- [2] Müller J. Baromètre national des pratiques sportives 2022 [Internet]. 2023
- [3] Patricia Croutte et Jörg Müller. Baromètre national des pratiques sportives 2020 [Internet]. 2021.
- [4] Patricia Croutte et Jörg Müller. Baromètre national des pratiques sportives 2018 [Internet]. 2019.
- [5] Daniel Lieberman. *L'Histoire du corps humain*. JC Lattès. 2015.
- [6] Blair SN. Physical inactivity: the biggest public health problem of the 21st century. *Br J Sports Med*. 2014 Feb;48(3):169-70.
- [7] di Lodovico L, Poulhais S, Gorwood P. Which sports are more at risk of physical exercise addiction: A systematic review. *Addictive Behaviors* [Internet]. 2019 Jun 1;93:257–62.
- [8] de Mattos Lourenco TR, Matsuoka PK, Baracat EC, Haddad JM. Urinary incontinence in female athletes: a systematic review. *Int Urogynecol J* [Internet]. 2018 Dec 1;29(12):1757–63.
- [9] Fields KB, Sykes JC, Walker KM, Jackson JC. Prevention of running injuries. *Curr Sports Med Rep* [Internet]. 2010 May;9(3):176–82.
- [10] Lopes AD, Hespanhol LC, Yeung SS, Costa LOP. What are the main running-related musculoskeletal injuries? A systematic review. *Sports Medicine* [Internet]. 2012;42(10):891–905.
- [11] 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* [Internet]. 2015 May 1;45(5):375–80.
- [12] Atallah F, Guillerrou Y. L'homme et sa douleur : dimension anthropologique et sociale. *Ann Fr Anesth Reanim* [Internet]. 2004;23(7):722–9.
- [13] Kemler E, Blokland D, Backx F, Huisstede B. Differences in injury risk and characteristics of injuries between novice and experienced runners over a 4-year period. *Phys Sportsmed* [Internet]. 2018 Oct 2;46(4):485–91.
- [14] Videbæk S, Bueno AM, Nielsen RO, Rasmussen S. Incidence of Running-Related Injuries Per 1000 h of running in Different Types of Runners: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med* [Internet]. 2015 Jul 20;45(7):1017–26.
- [15] Francis P, Whatman C, Sheerin K, Hume P, Johnson MI. The Proportion of Lower Limb Running Injuries by Gender, Anatomical Location and Specific Pathology: A Systematic Review. *J Sports Sci Med* [Internet]. 2019 Mar 1;18(1):21.
- [16] J TORTORA gerard and DB. *Anatomie et physiologie humaines*. 2022.0-1280 p.
- [17] Fink WJ, Costill DL, Pollock ML. SUBMAXIMAL AND MAXIMAL WORKING CAPACITY OF ELITE DISTANCE RUNNERS. PART II. MUSCLE FIBER COMPOSITION AND ENZYME ACTIVITIES. *Ann N Y Acad Sci* [Internet]. 1977 Oct 1;301(1):323–7.
- [18] Harber M, Trappe S. Single muscle fiber contractile properties of young competitive distance runners. *J Appl Physiol* [Internet]. 2008 Aug;105(2):629–36.
- [19] Luden N, Hayes E, Minchev K, Louis E, Raue U, Conley T, et al. Skeletal muscle plasticity with marathon training in novice runners. *Scand J Med Sci Sports* [Internet]. 2012 Oct 1;22(5):662–70.
- [20] Kohn TA, Essen-Gustavsson B, Myburgh KH. Exercise pattern influences skeletal muscle hybrid fibers of runners and nonrunners. *Med Sci Sports Exerc* [Internet]. 2007 Nov;39(11):1977–84.
- [21] Harber MP, Gallagher PM, Creer AR, Minchev KM, Trappe SW. Single muscle fiber contractile properties during a competitive season in male runners. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* [Internet]. 2004 Nov;287(5):1124–31.

- [22] Trappe S, Harber M, Creer A, Gallagher P, Slivka D, Minchev K, et al. Single muscle fiber adaptations with marathon training. *J Appl Physiol* (1985) [Internet]. 2006;101(3):721–7.
- [23] Henriksson J. Effects of physical training on the metabolism of skeletal muscle. *Diabetes Care* [Internet]. 1992;15(11):1701–11.
- [24] Ingjer F. Effects of endurance training on muscle fibre ATP-ase activity, capillary supply and mitochondrial content in man. *J Physiol* [Internet]. 1979 Sep 1;294(1):419.
- [25] Magnusson SP, Narici MV, Maganaris CN, Kjaer M. Human tendon behaviour and adaptation, in vivo. *J Physiol* [Internet]. 2008 Jan 1;586(1):71–81.
- [26] Hansen P, Aagaard P, Kjaer M, Larsson B, Magnusson SP. Effect of habitual running on human Achilles tendon load-deformation properties and cross-sectional area. *J Appl Physiol* [Internet]. 2003;95(6):2375–80.
- [27] Bohm S, Mersmann F, Arampatzis A. Human tendon adaptation in response to mechanical loading: a systematic review and meta-analysis of exercise intervention studies on healthy adults. *Sports Med Open* [Internet]. 2015 Dec 1;1(1)
- [28] Souza RB, Stehling C, Wyman BT, Hellio Le Graverand MP, Li X, Link TM, et al. The effects of acute loading on T1rho and T2 relaxation times of tibiofemoral articular cartilage. *Osteoarthritis Cartilage* [Internet]. 2010 Dec;18(12):1557–63.
- [29] Subburaj K, Kumar D, Souza RB, Alizai H, Li X, Link TM, et al. The acute effect of running on knee articular cartilage and meniscus magnetic resonance relaxation times in young healthy adults. *Am J Sports Med* [Internet]. 2012 Sep;40(9):2134–41.
- [30] Ceroni D, Martin X, Delhumeau C, Rizzoli R, Kaelin A, Farpour-Lambert N. Effects of cast-mediated immobilization on bone mineral mass at various sites in adolescents with lower-extremity fracture. *J Bone Joint Surg Am* [Internet]. 2012 Feb 1;94(3):208–16.
- [31] Stock JT. Wolff's law (bone functional adaptation). *The International Encyclopedia of Biological Anthropology* [Internet]. 2018 Oct 4:1–2.
- [32] Nevill AM, Burrows M, Holder RL, Bird S, Simpson D. Does lower-body BMD develop at the expense of upper-body BMD in female runners? *Med Sci Sports Exerc* [Internet]. 2003 Oct 1;35(10):1733–9.
- [33] Hind K, Truscott JG, Evans JA. Low lumbar spine bone mineral density in both male and female endurance runners. *Bone* [Internet]. 2006 Oct;39(4):880–5.
- [34] Bergmann G, Graichen F, Rohlmann A. Hip joint loading during walking and running, measured in two patients. *J Biomech* [Internet]. 1993;26(8):969–90.
- [35] van den Bogert AJ, Read L, Nigg BM. An analysis of hip joint loading during walking, running, and skiing. *Med Sci Sports Exerc* [Internet]. 1999;31(1):131–42.
- [36] Miller RH, Edwards WB, Brandon SCE, Morton AM, Deluzio KJ. Why don't most runners get knee osteoarthritis? a case for per-unit-distance loads. *Med Sci Sports Exerc* [Internet]. 2014 Mar;46(3):572–9.
- [37] Driban JB, Hootman JM, Sitler MR, Harris KP, Cattano NM. Is Participation in Certain Sports Associated With Knee Osteoarthritis? A Systematic Review. *J Athl Train* [Internet]. 2017;52:497.
- [38] Mujika I, Padilla S. Muscular characteristics of detraining in humans. *Med Sci Sports Exerc* [Internet]. 2001;33:1297–303.
- [39] John Greenleaf. *Deconditioning and Reconditioning*. CRC Press [Internet]. 2004. 1-200p.
- [40] BA Michel, NE Lane, A Björkengren, DA Bloch, JF Fries. Impact de la course à pied sur la densité osseuse lombaire : une étude longitudinale de 5 ans [Internet]. 1992 Nov ;19(11):1759-63
- [41] Johnston R, Cahalan R, O'Keeffe M, O'Sullivan K, Comyns T. The associations between training load and baseline characteristics on musculoskeletal injury and pain in endurance sport populations: A systematic review. *J Sci Med Sport* [Internet]. 2018 Sep;1;21(9):910–8.

- [42] Soligard T, Schwellnus M, Alonso JM, Bahr R, Clarsen B, Dijkstra HP, et al. How much is too much? (Part 1) International Olympic Committee consensus statement on load in sport and risk of injury. *Br J Sports Med* [Internet]. 2016 Sep;1;50(17):1030–41.
- [43] Barouki R. Stress. *Médecine/Sciences* [Internet]. 2002 May 1;18(5):523–523.
- [44] Dubois B, Berg F. *La Clinique Du Coureur : La santé par la course à pied*. Mons Editions, editor. Vol. 1. 2019. 1-496 p.
- [45] Hreljac A. Impact and Overuse Injuries in Runners. *Med Sci Sports Exerc* [Internet]. 2004;36(5):845–9.
- [46] Comyns T, Flanagan EP. Applications of the session rating of perceived exertion system in professional Rugby union. *Strength Cond J* [Internet]. 2013 Dec;35(6):78–85.
- [47] Billy Hulin. The never-ending search for the perfect acute:chronic workload ratio: what role injury definition? *British Journal of Sports Medicine* [Internet]. 2017 Jul;51(13), 991–992
- [48] Blanch P, Gabbett TJ. Has the athlete trained enough to return to play safely? The acute:chronic workload ratio permits clinicians to quantify a player’s risk of subsequent injury. *British Journal of Sports Medicine* [Internet]. 2016 Apr; 50(8), 471–475
- [49] Malone S, Owen A, Newton M, Mendes B, Collins KD, Gabbett TJ. The acute:chronic workload ratio in relation to injury risk in professional soccer. *J Sci Med Sport* [Internet]. 2017 Jun 1;20(6):561–5.
- [50] Maupin D, Schram B, Canetti E, Orr R. The Relationship Between Acute: Chronic Workload Ratios and Injury Risk in Sports: A Systematic Review. *Open Access J Sports Med* [Internet]. 2020 Feb;11:51.
- [51] Buist I, Bredeweg SW, Bessem B, van Mechelen W, Lemmink KAPM, Diercks RL. Incidence and risk factors of running-related injuries during preparation for a 4-mile recreational running event. *Br J Sports Med* [Internet]. 2010 Jun;44(8):598–604.
- [52] Rauh MJ, Koepsell TD, Rivara FP, Margherita AJ, Rice SG. Epidemiology of musculoskeletal injuries among high school cross-country runners. *Am J Epidemiol* [Internet]. 2006 Jan;163(2):151–9.
- [53] van der Worp H, Vrielink JW, Bredeweg SW. Do runners who suffer injuries have higher vertical ground reaction forces than those who remain injury-free? A systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med* [Internet]. 2016 Apr 1;50(8):450–7.
- [54] Schubert AG, Kempf J, Heiderscheit BC. Influence of stride frequency and length on running mechanics: a systematic review. *Sports Health* [Internet]. 2014 May 1;6(3):210–7.
- [55] Musgjerd T, Anason J, Rutherford D, Kernozek TW. Effect of Increasing Running Cadence on Peak Impact Force in an Outdoor Environment. *Int J Sports Phys Ther* [Internet]. 2021;16(4):1076–83.
- [56] van Gent RN, Siem D, van Middelkoop M, van Os AG, Bierma-Zeinstra SMA, Koes BW. Incidence and determinants of lower extremity running injuries in long distance runners: a systematic review. *Br J Sports Med* [Internet]. 2007 Aug 1;41(8):469–80.
- [57] Nielsen RO, Buist I, Sørensen H, Lind M, Rasmussen S. TRAINING ERRORS AND RUNNING RELATED INJURIES: A SYSTEMATIC REVIEW. *Int J Sports Phys Ther* [Internet]. 2012;7:58.
- [58] Brayer A, Delpierre Y, Colin D. Évaluation des blessures musculosquelettiques en « trail-running » chez deux populations amateurs d’experts et de novices définies par clustering : étude pilote. *Journal de Traumatologie du Sport* [Internet]. 2022 Mar 1;39(1):40–6.
- [59] Saragiotto BT, Yamato TP, Lopes AD. What do recreational runners think about risk factors for running injuries? A descriptive study of their beliefs and opinions. *J Orthop Sports Phys Ther* [Internet]. 2014 Oct 1;44(10):733–8.
- [60] Hollander K, Liebl D, Meining S, Mattes K, Willwacher S, Zech A. Adaptation of Running Biomechanics to Repeated Barefoot Running: A Randomized Controlled Study. *Am J Sports Med* [Internet]. 2019 Jul 1;47(8):1975–83.

- [61] Tessutti V, Ribeiro AP, Trombini-Souza F, Sacco ICN. Attenuation of foot pressure during running on four different surfaces: asphalt, concrete, rubber, and natural grass. *J Sports Sci* [Internet]. 2012 Oct;30(14):1545–50.
- [62] A F Renström. Mécanisme, diagnostic et traitement des blessures en course à pied. [Internet]. 1993;42:225-34.
- [63] J Lysholm, J Wiklander. Injuries in runners. *The American Journal of Sports Medicine* [Internet]. 1987 Mar-Apr;15(2):168-71.
- [64] Fredette A, Roy J-S, Perreault K, Dupuis F, Napier C, Esculier J-F. The association between running injuries and training parameters: A systematic review. *J Athl Train* [Internet]. 2021;57:650–71.
- [65] Camma Damsted, Simone Glad, Rasmus Oestergaard Nielsen, Henrik Sørensen, Laurent Malisoux. EXISTE-T-IL DES PREUVES D'UNE ASSOCIATION ENTRE LES CHANGEMENTS DANS LA CHARGE D'ENTRAÎNEMENT ET LES BLESSURES LIÉES À LA COURSE ? UNE REVUE SYSTEMATIQUE. *Int J Sports Phys Ther* [Internet]. 2018 Dec;13(6):931-942.
- [66] Savard C. Processus d'adaptation à la charge d'entraînement : particularités et complications. *Cahiers de l'INSEP* [Internet]. 2002;33(1):137–45.
- [67] Hreljac A. Etiology, prevention, and early intervention of overuse injuries in runners: a biomechanical perspective. *Phys Med Rehabil Clin N Am* [Internet]. 2005 Aug;16(3):651–67.
- [68] Franklyn M, Oakes B. Aetiology and mechanisms of injury in medial tibial stress syndrome: Current and future developments. *World J Orthop* [Internet]. 2015 Sep 9;6(8):577.
- [69] Jung M, Ziltener JL. Le syndrome douloureux fémoro-patellaire [Internet]. 2000;48(1):37–43.
- [70] Witvrouw E, Callaghan MJ, Stefanik JJ, Noehren B, Bazett-Jones DM, Willson JD, et al. Patellofemoral pain: Consensus statement from the 3rd International Patellofemoral Pain Research Retreat held in Vancouver. *Br J Sports Med* [Internet]. 2014;48(6):411–4.
- [71] Maffulli N, Sharma P, Luscombe KL. Achilles tendinopathy: aetiology and management. *JRSM* [Internet]. 2004 Oct;97:472–6.
- [72] Ekman EF, Pope T, Martin DF, Curl WW. Magnetic Resonance Imaging of Iliotibial Band Syndrome [Internet]. 1994 Nov-Dec;22(6):851-4.
- [73] WC Nemeth, BL Sanders. The lateral synovial recess of the knee: Anatomy and role in chronic iliotibial band friction syndrome [Internet]. 1996 Oct; 12(5):574-80.
- [74] Code de la santé publique - Section 1 : Actes professionnels [Internet]. 2004 Aug 8.
- [75] Domaine De La Santé D LE, Mondiale La Santé O DE. MÉTHODOLOGIE DE LA RECHERCHE GUIDE DE FORMATION AUX MÉTHODES DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE DEUXIÈME ÉDITION [Internet]. 2003. 1-255 p
- [76] Sullivan GM, Feinn R. Using Effect Size-or Why the P Value Is Not Enough. *J Grad Med Educ* [Internet]. 2012; 4 (3): 279–282.
- [77] Nielsen RØ, Bertelsen ML, Ramskov D, Damsted C, Brund RK, Parner ET, et al. The Garmin-RUNSAFE Running Health Study on the aetiology of running-related injuries: rationale and design of an 18-month prospective cohort study including runners worldwide. *BMJ Open* [Internet]. 2019 Sep; 6;9(9):e032627.
- [78] Van Der Worp MP, De Wijer A, Van Cingel R, Verbeek ALM, Nijhuis-Van Der Sanden MWG, Staal JB. The 5- or 10-km Marikenloop run: A prospective study of the etiology of running-related injuries in women. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy* [Internet]. 2016;46:462–70.
- [79] Wang J, Luo Z, Dai B, Fu W. Effects of 12-week cadence retraining on impact peak, load rates and lower extremity biomechanics in running. *Peer J*. [Internet]. 2020;8:e9813.
- [80] Damsted C, Parner ET, Sørensen H, Malisoux L, Nielsen RO. ProjectRun21: Do running experience and running pace influence the risk of running injury—A 14-week prospective cohort study. *J Sci Med Sport* [Internet]. 2019;22:281–7.

- [81] Kluitenberg B, van der Worp H, Huisstede BMA, Hartgens F, Diercks R, Verhagen E, et al. The NLstart2run study: Training-related factors associated with running-related injuries in novice runners. *J Sci Med Sport* [Internet]. 2016;19:642–6.
- [82] Hespanhol Junior LC, Pena Costa LO, Lopes AD. Previous injuries and some training characteristics predict running-related injuries in recreational runners: a prospective cohort study. *J Physiother* [Internet]. 2013;59:263–9.
- [83] Nielsen RO, Cederholm P, Buist I, Sørensen H, Lind M, Rasmussen S. Can GPS be used to detect deleterious progression in training volume among runners? *J Strength Cond Res* [Internet]. 2013;27:1471–8.
- [84] Bovens AMP, Janssen GME, Vermeer HGW, Hoeberigs JH, Janssen MPE, Verstappen FTJ. Occurrence of running injuries in adults following a supervised training program. *Int J Sports Med* [Internet]. 1989;10 Suppl 3.
- [85] Nielsen RØ, Parner ET, Nohr EA, Sørensen H, Lind M, Rasmussen S. Excessive progression in weekly running distance and risk of running-related injuries: An association which varies according to type of injury. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy* [Internet]. 2014;44:739–47.
- [86] van Poppel D, Scholten-Peeters GGM, van Middelkoop M, Koes BW, Verhagen AP. Risk models for lower extremity injuries among short- and long distance runners: A prospective cohort study. *Musculoskelet Sci Pract* [Internet]. 2018;36:48–53.
- [87] Van Middelkoop M, Kolkman J, Ochten J Van, Bierma-Zeinstra SMA, Koes BW, Middelkoop M Van. Risk factors for lower extremity injuries among male marathon runners. *Scand J Med Sci Sports* [Internet]. 2008 Dec;18(6):691-7.
- [88] Taunton JE, Ryan MB, Clement DB, McKenzie DC, Lloyd-Smith DR, Zumbo BD. A prospective study of running injuries: the Vancouver Sun Run “In Training” clinics. *Br J Sports Med* [Internet]. 2003;37:239–44.
- [89] Buist I, Bredeweg SW, Bessem B, Van Mechelen W, Lemmink KAPM, Diercks RL. Incidence and risk factors of running-related injuries during preparation for a 4-mile recreational running event. *Br J Sports Med* [Internet]. 2010;44:598–604.
- [90] Dallinga J, Rijn R Van, Stubbe J, Deutekom M. Injury incidence and risk factors: a cohort study of 706 8-km or 16-km recreational runners. *BMJ Open Sport Exerc Med* [Internet]. 2019;5:489.
- [91] Malisoux L, Nielsen RO, Urhausen A, Theisen D. A step towards understanding the mechanisms of running-related injuries. *J Sci Med Sport* [Internet]. 2015;18:523–8.
- [92] Ramskov D, Rasmussen S, Sørensen H, Parner ET, Lind M, Nielsen R. Progression in Running Intensity or Running Volume and the Development of Specific Injuries in Recreational Runners: Run Clever, a Randomized Trial Using Competing Risks. *J Orthop Sports Phys Ther* [Internet]. 2018;48:740–8.
- [93] Buist I, Bredeweg SW, Van Mechelen W, Lemmink KAPM, Pepping GJ, Diercks RL. No effect of a graded training program on the number of running-related injuries in novice runners: A randomized controlled trial. *American Journal of Sports Medicine* [Internet]. 2008;36:33–9.
- [94] Helgerud J, Høydal K, Wang E, Karlsen T, Berg P, Bjerkaas M, et al. Aerobic high-intensity intervals improve VO₂max more than moderate training. *Med Sci Sports Exerc* [Internet]. 2007;39:665–71.
- [95] Céline Bourzac. Effets comparatifs de protocoles de course sur la qualité et la réparation osseuse chez le rat Wistar [Thèse d’exercice]. Paris 7, France : Université Paris Diderot ; 2021.
- [96] Dennis Y. Wen, MD. Risk Factors for Overuse Injuries in Runners. [Internet]. 2007;6(5), 307–313
- [97] Hespanhol Junior LC, Pena Costa LO, Lopes AD. Previous injuries and some training characteristics predict running-related injuries in recreational runners: A prospective cohort study. *J Physiother* [Internet]. 2013;59:263–9.

- [98] Blaise Dubois. La fasciopathie plantaire. KMag. [Internet]. 2020 Nov 28.
- [99] Malisoux L, Chambon N, Urhausen A, Theisen D. Influence of the Heel-to-Toe Drop of Standard Cushioned Running Shoes on Injury Risk in Leisure-Time Runners. [Internet]. 2016 Nov;44(11):2933–2940.
- [100] Van Der Worp MP, Ten Haaf DSM, Van Cingel R, De Wijer A, Nijhuis-Van Der Sanden MWG, Bart Staal J. Injuries in Runners; A Systematic Review on Risk Factors and Sex Differences. PLoS One [Internet]. 2015 Feb 23;10(2):e0114937.
- [101] 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 [Internet]. 2021;10:14–28.
- [102] Soligard T, Schweltnus M, Alonso JM, Bahr R, Clarsen B, Dijkstra HP, et al. How much is too much? (Part 1) International Olympic Committee consensus statement on load in sport and risk of injury. Br J Sports Med [Internet]. 2016;50:1030–41.
- [103] Timpka T, Alonso JM, Jacobsson J, Junge A, Branco P, Clarsen B, et al. Injury and illness definitions and data collection procedures for use in epidemiological studies in Athletics (track and field): Consensus statement. Br J Sports Med [Internet]. 2014;48:483–90.
- [104] Schulz KF. Subverting Randomization in Controlled Trials. JAMA [Internet]. 1995;274:1456–8.
- [105] HAS. Niveau de preuve et gradation des recommandations de bonne pratique. [Internet]. 2013 Apr. 1-90 p
- [106] Shea BJ, Reeves BC, Wells G, Thuku M, Hamel C, Moran J, et al. AMSTAR 2: a critical appraisal tool for systematic reviews that include randomised or non-randomised studies of healthcare interventions, or both. BMJ [Internet]. 2017;358:4008.
- [107] Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. BMJ . [Internet].2021;372:n71.
- [108] Brosseau L, Laroche C, Sutton A, et al. Une version franco-canadienne de la Physiotherapy Evidence Database (PEDro) scale : l'échelle PEDro. Physiother Canada 2015;67(3):232-9
- [109] Shea BJ, Reeves BC, Wells G, Thuku M, Hamel C, Moran J, Moher D, Tugwell P, Welch V, Kristjansson E, Henry DA. AMSTAR 2: a critical appraisal tool for systematic reviews that include randomised or non-randomised studies of healthcare interventions, or both. BMJ. 2017 Sep 21;358:j4008.

7. Annexes

Annexe 1 : Réponses au questionnaire relatif à la quantification des charges d'entraînement

Annexe 2 : Prisma checklist

Annexe 3 : Extraction des données

Annexe 4 : Echelle PEDRO, traduction française

Annexe 5 : Evaluation détaillée de la qualité des essais contrôlés randomisés inclus

Annexe 6 : Evaluation détaillée de la qualité des études de cohorte incluses

Annexe 7 : Etablissement d'une inférence causale

Annexe 8 : Critères de causalité de Hill

Annexe 9 : Les modèles de causalité

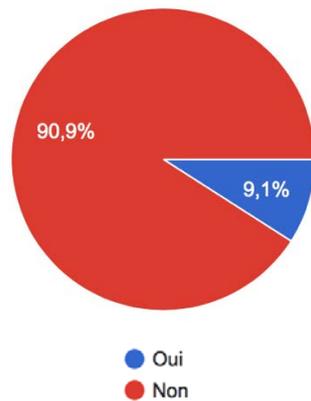
Annexe 10 : Grille AMSTAR 2

Annexe 1 : Réponses au questionnaire relatif à la quantification des charges d'entraînement

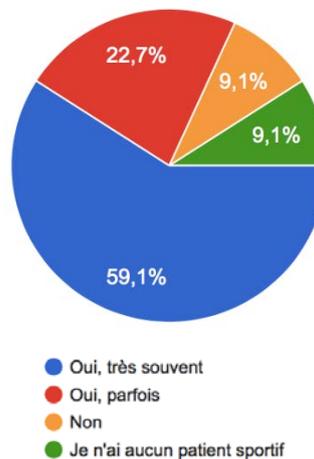
Question 1 : As-tu déjà entendu parlé de l'importance de la quantification de la charge d'entraînement dans la prévention des blessures en course à pied ? (22 réponses)



Question 2 : As-tu eu des cours dédiés à la quantification des charges d'entraînement durant ta formation en IFMK ? (22 réponses)



Question 3 : Préviens-tu tes patients de l'importance de la gestion des paramètres de l'entraînement dans la prévention des blessures ? (22 réponses)



Annexe 2 : Prisma checklist [107]

Section and Topic	Item #	Checklist item	Location where item is reported
TITLE			
Title	1	Identify the report as a systematic review.	Titre
ABSTRACT			
Abstract	2	See the PRISMA 2020 for Abstracts checklist.	4e de <u>couverture</u>
INTRODUCTION			
Rationale	3	Describe the rationale for the review in the context of existing knowledge.	p.1-17
Objectives	4	Provide an explicit statement of the objective(s) or question(s) the review addresses.	p.17
METHODS			
Eligibility criteria	5	Specify the inclusion and exclusion criteria for the review and how studies were grouped for the syntheses.	p.18-19,23
Information sources	6	Specify all databases, registers, websites, organisations, reference lists and other sources searched or consulted to identify studies. Specify the date when each source was last searched or consulted.	p.19
Search strategy	7	Present the full search strategies for all databases, registers and websites, including any filters and limits used.	p.20-21
Selection process	8	Specify the methods used to decide whether a study met the inclusion criteria of the review, including how many reviewers screened each record and each report retrieved, whether they worked independently, and if applicable, details of automation tools used in the process.	p.21
Data collection process	9	Specify the methods used to collect data from reports, including how many reviewers collected data from each report, whether they worked independently, any processes for obtaining or confirming data from study investigators, and if applicable, details of automation tools used in the process.	p.21-22
Data items	10a	List and define all outcomes for which data were sought. Specify whether all results that were compatible with each outcome domain in each study were sought (e.g. for all measures, time points, analyses), and if not, the methods used to decide which results to collect.	p.23-25
	10b	List and define all other variables for which data were sought (e.g. participant and intervention characteristics, funding sources). Describe any assumptions made about any missing or unclear information.	p.21-23
Study risk of bias assessment	11	Specify the methods used to assess risk of bias in the included studies, including details of the tool(s) used, how many reviewers assessed each study and whether they worked independently, and if applicable, details of automation tools used in the process.	p.23
Effect measures	12	Specify for each outcome the effect measure(s) (e.g. risk ratio, mean difference) used in the synthesis or presentation of results.	p.24-25
Synthesis methods	13a	Describe the processes used to decide which studies were eligible for each synthesis (e.g. tabulating the study intervention characteristics and comparing against the planned groups for each synthesis (item #5)).	p.18-21
	13b	Describe any methods required to prepare the data for presentation or synthesis, such as handling of missing summary statistics, or data conversions.	p.23-25
	13c	Describe any methods used to tabulate or visually display results of individual studies and syntheses.	p.23-25
	13d	Describe any methods used to synthesize results and provide a rationale for the choice(s). If meta-analysis was performed, describe the model(s), method(s) to identify the presence and extent of statistical heterogeneity, and software package(s) used.	p.24-25
	13e	Describe any methods used to explore possible causes of heterogeneity among study results (e.g. subgroup analysis, meta-regression).	p.25
	13f	Describe any sensitivity analyses conducted to assess robustness of the synthesized results.	p.25
Reporting bias assessment	14	Describe any methods used to assess risk of bias due to missing results in a synthesis (arising from reporting biases).	p.22-25
Certainty assessment	15	Describe any methods used to assess certainty (or confidence) in the body of evidence for an outcome.	p.24-25

Section and Topic	Item #	Checklist Item	Location where item is reported
RESULTS			
Study selection	16a	Describe the results of the search and selection process, from the number of records identified in the search to the number of studies included in the review, ideally using a flow diagram.	p.26-27
	16b	Cite studies that might appear to meet the inclusion criteria, but which were excluded, and explain why they were excluded.	p.28
Study characteristics	17	Cite each included study and present its characteristics.	p.28-32
Risk of bias in studies	18	Present assessments of risk of bias for each included study.	p.32-34
Results of individual studies	19	For all outcomes, present, for each study: (a) summary statistics for each group (where appropriate) and (b) an effect estimate and its precision (e.g. confidence/credible interval), ideally using structured tables or plots.	p.34 à 44
Results of syntheses	20a	For each synthesis, briefly summarise the characteristics and risk of bias among contributing studies.	Annexes 3,5,6
	20b	Present results of all statistical syntheses conducted. If meta-analysis was done, present for each the summary estimate and its precision (e.g. confidence/credible interval) and measures of statistical heterogeneity. If comparing groups, describe the direction of the effect.	p.44-46
	20c	Present results of all investigations of possible causes of heterogeneity among study results.	p.55-58
	20d	Present results of all sensitivity analyses conducted to assess the robustness of the synthesized results.	
Reporting biases	21	Present assessments of risk of bias due to missing results (arising from reporting biases) for each synthesis assessed.	Annexes 5,6
Certainty of evidence	22	Present assessments of certainty (or confidence) in the body of evidence for each outcome assessed.	p.58-59
DISCUSSION			
Discussion	23a	Provide a general interpretation of the results in the context of other evidence.	p.47-55
	23b	Discuss any limitations of the evidence included in the review.	p.47-60
	23c	Discuss any limitations of the review processes used.	p.60-63
	23d	Discuss implications of the results for practice, policy, and future research.	p.60,64,65
OTHER INFORMATION			
Registration and protocol	24a	Provide registration information for the review, including register name and registration number, or state that the review was not registered.	p.18
	24b	Indicate where the review protocol can be accessed, or state that a protocol was not prepared.	p.18
	24c	Describe and explain any amendments to information provided at registration or in the protocol.	p.18
Support	25	Describe sources of financial or non-financial support for the review, and the role of the funders or sponsors in the review.	p.65
Competing interests	26	Declare any competing interests of review authors.	p.65
Availability of data, code and other materials	27	Report which of the following are publicly available and where they can be found: template data collection forms; data extracted from included studies; data used for all analyses; analytic code; any other materials used in the review.	

Annexe 3 : Extraction des données

https://docs.google.com/document/d/1rLU_Y3TRNvqJOBWTak2hWf5puQOmc/edit?usp=sharing&ouid=101045446121745848453&rtpof=true&sd=true

Etude	Design de l'étude	Durée de suivi	Population	Exposition	Définition d'une blessure liée à la course	Diagnostic
Kluitenberg 2015	Cohorte prospective	6 semaines	1696 coureurs novices 18 - 65 ans	Programme d'entraînement spécifique	« musculoskeletal pain in a sole body part of the lower extremity or back which the participant attributed to running and caused a restriction in running ability (speed, distance or duration) for at least three consecutive training sessions »	Autorapport
Hespanhol 2013	Cohorte prospective	12 semaines	191 coureurs récréatifs ≥18 ans	Programme de course libre	« any pain of musculoskeletal origin attributed to running by the runners themselves and severe enough to prevent the runner from performing at least one training session »	Autorapport
Nielsen 2013	Cohorte prospective	10 semaines	58 coureurs novices 18 - 65 ans	Programme de course libre	« any musculoskeletal complaint of the lower extremity or back causing a restriction of running for at least 1 week »	Examen clinique par des médecins
Bovens 1989	Cohorte prospective	18 à 20 mois	115 coureurs inexpérimentés >20 ans	Programme d'entraînement spécifique	« any physical complaint developed in relation with running activities and causing restriction in running distance, speed, duration or frequency was considered to be an injury. »	Autorapport ou diagnostic médical
Nielsen 2014	Cohorte prospective	1 an	873 coureurs novices 18 - 65 ans	Programme de course libre	« any musculoskeletal complaint of the lower extremity or back caused by running that restricted the amount of running (distance, duration, pace, or frequency) for at least 1 week ».	Examen clinique par un physiothérapeute +/- imagerie
Van Poppel 2018	Cohorte prospective	12 mois	3768 coureurs récréatifs >18 ans	Programme de course libre	« self-reported complaints of muscles, joints, tendons or bones in the lower extremity (hip, groin, thigh, knee, lower leg, ankle, foot and toe) due to running activities by which the running intensity or frequency was reduced, or medical consultation was needed »	Autorapport
Van Middelkoop 2007	Cohorte prospective	1 mois	726 coureurs récréatifs >18 ans	Programme de course libre	« injury on muscles, joints, tendons and/or bones of the lower extremities (hip, groin, thigh, knee, lower leg, ankle, foot, and toe) that the participant attributed to running. »	Autorapport
Taunton 2003	Cohorte prospective	13 semaines	840 coureurs récréatifs novices et intermédiaires <30 ans (n=141) 31-49 ans (n=502) 50-55 ans (n=111) >56 ans (n=74)	Programme d'entraînement spécifique	« grade 1 : pain only after exercise; grade 2 : pain during exercise, but not restricting distance or speed; grade 3 : pain during exercise and restricting distance and speed; grade 4 : pain preventing all running. »	Consultation d'un professionnel
Buist 2008	Cohorte prospective	8 semaines	629 coureurs novices, récréatifs ≥18 ans	Programme d'entraînement spécifique	« any musculoskeletal pain of the lower limb or back causing a restriction in running (mileage, pace or duration) for at least 1 day. »	Autorapport
Dallinga 2019	Cohorte prospective	3 mois	678 coureurs récréatifs ≥18 ans	Programme de course libre	« every physical complaint that resulted in at least 1 week of training loss. »	Autorapport
Malisoux 2014	Cohorte prospective	9 mois	517 coureurs récréatifs >18 ans	Programme de course libre	« any physical pain located at the lower limbs or lower back region, sustained during or as a result of running practice and impeding planned running activity for at least 1 day (time-loss definition). »	Autorapport
Ramskov 2018	ECR	24 semaines	839 coureurs récréatifs 18 - 65 ans	→ Groupe 1 (V) : Progression du volume → Groupe 2 (I) : Progression de l'intensité	« an injury sustained on muscles, joints, tendons, and/or bones during or after running and attributed to running. The injury must have caused a training reduction (reduced distance, intensity, frequency, etc) for at least 7 days. »	Examen clinique par des kinésithérapeutes expérimentés +/- imagerie
Buist 2008	ECR	8 à 13 semaines	532 coureurs novices 18 - 65 ans	→ Groupe 1 : Programme gradué et adapté → Groupe 2 : Programme standard	« any musculoskeletal complaint of the lower extremity or back causing a restriction of running for at least 1 week. »	Autorapport

Échelle PEDro – Français

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

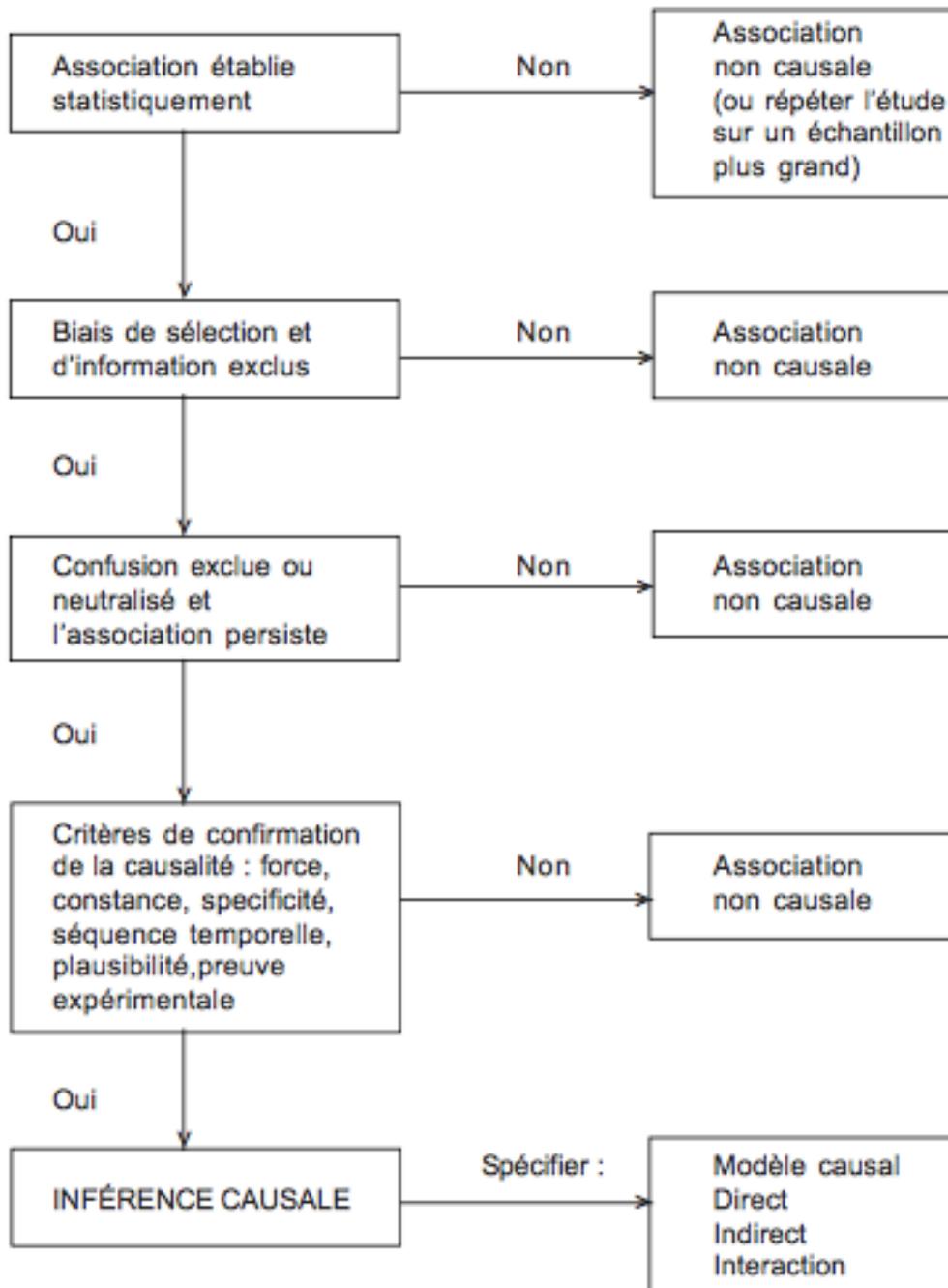
Annexe 5 : Evaluation détaillée de la qualité des essais contrôlés randomisés inclus

	Ramskov [92]	Buist [93]
Item 1	« an internet-based questionnaire, distributed through social media, magazines, and announcements of the trial in running stores and clubs. » « healthy recreational runners between 18 and 65 years of age who owned an iOS or Android based smartphone. » « excluded if they reported having had an injury within the past 6 months or being pregnant, or if vigorous physical activity was contraindicated. »	« Recruitment was assisted by advertisements in local media » « Healthy participants between 18 and 65 years of age, who had not sustained an injury of the lower extremity in the last 3 months before inclusion and who had not been running in the previous 12 months, were eligible » « excluded if there were absolute contraindications for vigorous physical activities, or in case of unwillingness to keep a running log. »
Item 2	« Using a randomized parallel-group design »	« 532 novice runners were randomized into the graded training program group and the standard training program group »
Item 3	« Group allocation was concealed from investigators »	<u>Non mentionné</u>
Item 4	Table 1	Table 2
Item 5	<u>Non mentionné</u>	<u>Non mentionné</u>
Item 6	<u>Non mentionné</u>	<u>Non mentionné</u>
Item 7	« Members of the diagnostic team were blinded »	<u>Non mentionné</u>
Item 8	<u>Non, voir Figure 1</u>	Figure 1
Item 9	« All participants who started a running session in the specific-focus training period were included in the intention-to-treat analysis. »	« All analyses were performed following the “intention to treat” principle. »
Item 10	Tables 2,3,4 ; Figure 2	Figures 2,3 ; Tables 3,4
Item 11	Tables 3 et 4	« Cox regression analyses, adjusted for BMI, revealed no significant effect of the graded training program on injury risk (odds ratio = 0.8; 95%; confidence interval = [0.6-1.3]). »

Annexe 6 : Evaluation détaillée de la qualité des études de cohorte incluses

https://drive.google.com/drive/folders/1eBpzpToC1WRUeAWiyTwjzfE1e6AYk3sd?usp=share_link

Annexe 7 : Etablissement d'une inférence causale [75]



Annexe 8 : Critères de causalité de Hill [75]

L'association est forte (force).

La force de l'association est mesurée par le risque relatif (et le risque attribuable) et le rapport de chance (OR) (dans les études cas-témoins). Les coefficients de corrélation ou de régression peuvent confirmer ces mesures de l'effet. Plus l'association est forte, plus grande est la vraisemblance d'une relation causale.

Il existe un gradient biologique (relation dose-effet).

Si elle est présente, une relation dose-effet accroît la vraisemblance d'une association causale. Cependant cette relation n'existe pas dans toutes les études.

L'association suit une séquence temporelle (chronologie).

Il va sans dire que le facteur de risque ou la cause doit précéder l'effet ou la pathologie. Cette exigence de l'antériorité temporelle de la cause sur l'effet est souvent négligée. Il est plus facile d'établir la séquence temporelle dans les études expérimentales et les études de cohorte, que dans les études cas-témoins ou les enquêtes transversales.

L'association est plausible (cohérence ou plausibilité).

L'association doit respecter le sens commun biologique ou sociologique ; elle ne doit pas contredire des théories ou des connaissances existantes, à moins qu'elle ne remette en question expressément ces théories. Dans tous les cas l'association doit reposer sur un fondement théorique.

L'association est constante (constance)

La causalité est plus vraisemblable lorsque l'association est confirmée par d'autres investigations effectuées par des personnes différentes, dans des lieux, des circonstances, et des périodes différents, et utilisant des plans de recherche différents.

L'association est spécifique (spécificité).

L'apparition de la maladie devrait être spécifique, ou caractéristique, de l'exposition à un facteur de risque particulier. Cette exigence peut être satisfaite pour les maladies infectieuses mais pas toujours pour les maladies non infectieuses qui peuvent avoir différents facteurs de risque. Par conséquent ce critère n'est pas généralisé.

Il existe une preuve expérimentale en faveur de la causalité.

On peut établir deux types de preuves expérimentales : (i) des expériences sur l'être humain utilisant le facteur de risque, ce qui est difficile à réaliser, et (ii) l'arrêt de l'exposition, où la suppression de la cause potentielle entraîne une réduction significative de l'incidence de la maladie.

Annexe 9 : Les modèles de causalité [75]

E est le facteur d'exposition et D est la maladie		Causalité
1.	$E \longrightarrow D$	Causalité directe
2.	$E \longrightarrow C \longrightarrow D$	Causalité indirecte
3.	$\begin{array}{l} E_1 \searrow \\ \\ E_2 \nearrow \end{array} \longrightarrow D$	Causalité indépendante (si le taux augmente il y a synergie)
4.	$\left[\begin{array}{l} E_1 \\ E_2 \end{array} \right] \longrightarrow D$	Causalité conditionnelle (seulement si E_1 et E_2 sont toutes deux présentes)
5.	$E_1 \xrightarrow{E_2} D$	Effet modificateur (ou forme de synergie)
6.	$\begin{array}{l} \text{---} E_2 \text{---} \\ \phantom{\text{---}} \\ E_1 \longrightarrow \end{array} \longrightarrow D$	Association confusionnelle de E_1 et D disparaît par neutralisation ou analyse par stratification
7.	$\begin{array}{l} E \\ \text{Rayonnements} \end{array} \begin{array}{l} \nearrow D_1 \\ \longrightarrow D_2 \\ \searrow D_3 \end{array}$	Leucémie Cancer du poumon Maladie des rayonnements
8.	$\begin{array}{l} E_1 \text{ Rayonnements} \\ E_2 \text{ Nickel} \\ E_3 \text{ Tabagisme} \\ E_4 \text{ Amiante} \end{array} \longrightarrow D$	Cancer du poumon Causes multiples et indépendantes (comme sous 3) d'une seule maladie.
9.	$\begin{array}{l} \text{Stress} \\ E_3 \end{array} \begin{array}{l} \nearrow D_1 \\ \searrow D_2 \end{array}$	Maladie cardiaque Ulçère gastrique Troisième variable cachée. La maladie cardiaque et l'ulcère gastrique peuvent être concomitants (sont associés) car ils sont tous deux liés au stress.

Annexe 10 : Grille AMSTAR 2 [109]

1. Did the research questions and inclusion criteria for the review include the components of PICO?

For Yes:	Optional (recommended)	
<input checked="" type="checkbox"/> Population	<input type="checkbox"/> Timeframe for follow-up	<input checked="" type="checkbox"/> Yes
<input checked="" type="checkbox"/> Intervention		<input type="checkbox"/> No
<input checked="" type="checkbox"/> Comparator group		
<input checked="" type="checkbox"/> Outcome		

2. Did the report of the review contain an explicit statement that the review methods were established prior to the conduct of the review and did the report justify any significant deviations from the protocol?

For Partial Yes: The authors state that they had a written protocol or guide that included ALL the following:	For Yes: As for partial yes, plus the protocol should be registered and should also have specified:	
<input checked="" type="checkbox"/> review question(s)	<input checked="" type="checkbox"/> a meta-analysis/synthesis plan, if appropriate, <i>and</i>	<input type="checkbox"/> Yes
<input checked="" type="checkbox"/> a search strategy	<input checked="" type="checkbox"/> a plan for investigating causes of heterogeneity	<input checked="" type="checkbox"/> Partial Yes
<input checked="" type="checkbox"/> inclusion/exclusion criteria	<input checked="" type="checkbox"/> justification for any deviations from the protocol	<input type="checkbox"/> No
<input checked="" type="checkbox"/> a risk of bias assessment		

3. Did the review authors explain their selection of the study designs for inclusion in the review?

For Yes, the review should satisfy ONE of the following:	
<input type="checkbox"/> <i>Explanation for</i> including only RCTs	<input checked="" type="checkbox"/> Yes
<input type="checkbox"/> OR <i>Explanation for</i> including only NRSI	<input type="checkbox"/> No
<input checked="" type="checkbox"/> OR <i>Explanation for</i> including both RCTs and NRSI	

4. Did the review authors use a comprehensive literature search strategy?

For Partial Yes (all the following):	For Yes, should also have (all the following):	
<input checked="" type="checkbox"/> searched at least 2 databases (relevant to research question)	<input checked="" type="checkbox"/> searched the reference lists / bibliographies of included studies	<input checked="" type="checkbox"/> Yes
<input checked="" type="checkbox"/> provided key word and/or search strategy	<input checked="" type="checkbox"/> searched trial/study registries	<input type="checkbox"/> Partial Yes
<input checked="" type="checkbox"/> justified publication restrictions (e.g. language)	<input checked="" type="checkbox"/> included/consulted content experts in the field	<input type="checkbox"/> No
	<input checked="" type="checkbox"/> where relevant, searched for grey literature	
	<input checked="" type="checkbox"/> conducted search within 24 months of completion of the review	

5. Did the review authors perform study selection in duplicate?

For Yes, either ONE of the following:	
<input type="checkbox"/> at least two reviewers independently agreed on selection of eligible studies and achieved consensus on which studies to include	<input type="checkbox"/> Yes
<input type="checkbox"/> OR two reviewers selected a sample of eligible studies <u>and</u> achieved good agreement (at least 80 percent), with the remainder selected by one reviewer.	<input checked="" type="checkbox"/> No

6. Did the review authors perform data extraction in duplicate?

For Yes, either ONE of the following:

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> at least two reviewers achieved consensus on which data to extract from included studies | <input type="checkbox"/> Yes |
| <input type="checkbox"/> OR two reviewers extracted data from a sample of eligible studies and achieved good agreement (at least 80 percent), with the remainder extracted by one reviewer. | <input checked="" type="checkbox"/> No |

7. Did the review authors provide a list of excluded studies and justify the exclusions?

For Partial Yes:

- provided a list of all potentially relevant studies that were read in full-text form but excluded from the review

For Yes, must also have:

- Justified the exclusion from the review of each potentially relevant study

- Yes**
- Partial Yes
- No

8. Did the review authors describe the included studies in adequate detail?

For Partial Yes (ALL the following):

- described populations
- described interventions
- described comparators
- described outcomes
- described research designs

For Yes, should also have ALL the following:

- described population in detail
- described intervention in detail (including doses where relevant)
- described comparator in detail (including doses where relevant)
- described study's setting
- timeframe for follow-up

- Yes**
- Partial Yes
- No

9. Did the review authors use a satisfactory technique for assessing the risk of bias (RoB) in individual studies that were included in the review?

RCTs

For Partial Yes, must have assessed RoB from

- unconcealed allocation, *and*
- lack of blinding of patients and assessors when assessing outcomes (unnecessary for objective outcomes such as all-cause mortality)

For Yes, must also have assessed RoB from:

- allocation sequence that was not truly random, *and*
- selection of the reported result from among multiple measurements or analyses of a specified outcome

- Yes**
- Partial Yes
- No
- Includes only NRSI

NRSI

For Partial Yes, must have assessed RoB:

- from confounding, *and*
- from selection bias

For Yes, must also have assessed RoB:

- methods used to ascertain exposures and outcomes, *and*
- selection of the reported result from among multiple measurements or analyses of a specified outcome

- Yes**
- Partial Yes
- No
- Includes only RCTs

10. Did the review authors report on the sources of funding for the studies included in the review?

For Yes

- Must have reported on the sources of funding for individual studies included in the review. Note: Reporting that the reviewers looked for this information but it was not reported by study authors also qualifies
- Yes**
 - No

11. If meta-analysis was performed did the review authors use appropriate methods for statistical combination of results?

RCTs

For Yes:

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> The authors justified combining the data in a meta-analysis | <input type="checkbox"/> Yes |
| <input type="checkbox"/> AND they used an appropriate weighted technique to combine study results and adjusted for heterogeneity if present. | <input type="checkbox"/> No |
| <input type="checkbox"/> AND investigated the causes of any heterogeneity | <input checked="" type="checkbox"/> No meta-analysis conducted |

For NRSI

For Yes:

- | | |
|--|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> The authors justified combining the data in a meta-analysis | <input checked="" type="checkbox"/> Yes |
| <input checked="" type="checkbox"/> AND they used an appropriate weighted technique to combine study results, adjusting for heterogeneity if present | <input type="checkbox"/> No |
| <input checked="" type="checkbox"/> AND they statistically combined effect estimates from NRSI that were adjusted for confounding, rather than combining raw data, or justified combining raw data when adjusted effect estimates were not available | <input type="checkbox"/> No meta-analysis conducted |
| <input checked="" type="checkbox"/> AND they reported separate summary estimates for RCTs and NRSI separately when both were included in the review | |

12. If meta-analysis was performed, did the review authors assess the potential impact of RoB in individual studies on the results of the meta-analysis or other evidence synthesis?

For Yes:

- | | |
|--|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> included only low risk of bias RCTs | <input checked="" type="checkbox"/> Yes |
| <input checked="" type="checkbox"/> OR, if the pooled estimate was based on RCTs and/or NRSI at variable RoB, the authors performed analyses to investigate possible impact of RoB on summary estimates of effect. | <input type="checkbox"/> No |
| | <input type="checkbox"/> No meta-analysis conducted |

13. Did the review authors account for RoB in individual studies when interpreting/ discussing the results of the review?

For Yes:

- | | |
|--|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> included only low risk of bias RCTs | <input checked="" type="checkbox"/> Yes |
| <input checked="" type="checkbox"/> OR, if RCTs with moderate or high RoB, or NRSI were included the review provided a discussion of the likely impact of RoB on the results | <input type="checkbox"/> No |

14. Did the review authors provide a satisfactory explanation for, and discussion of, any heterogeneity observed in the results of the review?

For Yes:

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> There was no significant heterogeneity in the results | <input checked="" type="checkbox"/> Yes |
| <input checked="" type="checkbox"/> OR if heterogeneity was present the authors performed an investigation of sources of any heterogeneity in the results and discussed the impact of this on the results of the review | <input type="checkbox"/> No |

15. If they performed quantitative synthesis did the review authors carry out an adequate investigation of publication bias (small study bias) and discuss its likely impact on the results of the review?

For Yes:

- | | |
|--|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> performed graphical or statistical tests for publication bias and discussed the likelihood and magnitude of impact of publication bias | <input type="checkbox"/> Yes |
| | <input checked="" type="checkbox"/> No |
| | <input type="checkbox"/> No meta-analysis conducted |

16. Did the review authors report any potential sources of conflict of interest, including any funding they received for conducting the review?

For Yes:

- | | |
|---|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> The authors reported no competing interests OR | <input checked="" type="checkbox"/> Yes |
| <input type="checkbox"/> The authors described their funding sources and how they managed potential conflicts of interest | <input type="checkbox"/> No |

Résumé / Abstract

Introduction : Il a été suggéré que les erreurs d'entraînement sont la cause de la plupart des blessures en course à pied. Certaines études s'accordent en effet à dire qu'une mauvaise adaptation de la charge d'entraînement représente un risque important de développer une *Running-Related Injury* (RRI), particulièrement chez les coureurs inexpérimentés. La charge d'entraînement, qui peut être évaluée par mesure de la fréquence, la vitesse, la durée, la distance et l'intensité de course, représente une estimation du niveau de sollicitation de l'organisme, et peut ainsi prédire le risque lésionnel.

Objectif : L'objectif de la présente revue systématique était de compiler les données probantes d'articles examinant l'association entre la charge d'entraînement et les blessures liées à la course, et d'établir un lien de causalité entre ces variables.

Méthode : Les bases de données PubMed, Pedro, Cochrane Library et Google Scholar ont permis le recueil d'études de cohorte et d'essais cliniques randomisés. Un seul investigateur a effectué la sélection des articles, l'extraction des données ainsi que l'évaluation des biais par l'intermédiaire des échelles QUIPS et Pedro. Les études ont été incluses si elles étudiaient la relation entre les blessures ou les douleurs et l'une ou plusieurs des variables suivantes : volume, intensité, durée, vitesse, distance d'entraînement, chez des coureurs adultes récréatifs, amateurs, novices et/ou inexpérimentés.

Résultats : Onze études de cohortes et deux essais randomisés, conduits entre 1989 et 2019, remplissaient les critères d'éligibilité et ont ainsi été inclus. Six études rapportaient des associations statistiquement significatives entre au moins un paramètre de l'entraînement et le risque de développer une blessure.

Discussion : Aucun lien de causalité entre les paramètres de l'entraînement et le risque de blessure n'a pu être établi avec certitude, attestant la nécessité d'effectuer de plus amples investigations sur le sujet. Les chercheurs sont appelés à utiliser des définitions standardisées et des mesures objectives afin de réduire l'hétérogénéité des études réalisées dans le domaine de la course à pied.

Mots clés : blessures liées à la course - entraînement - intensité - durée - fréquence - distance - vitesse

Introduction : It has been suggested that training errors are the cause of most running injuries. Indeed, some studies agree that poorly adapted training load represents a significant risk of developing Running-Related Injuries (RRI), particularly in inexperienced runners. Training load, which can be assessed by measuring running frequency, speed, duration, distance, and intensity, represents an estimate of the level of demand on the body, and thus may predict injury risk.

Objective : The objective of this systematic review was to compile evidence from articles examining the association between changes in training load and running-related injuries, and to establish a causal link between these different variables.

Method : PubMed, Pedro, Cochrane Library, and Google Scholar databases were used to collect cohort studies and randomized clinical trials. A single investigator performed article selection, data extraction, and bias assessment via QUIPS and Pedro scales. Studies were included if they investigated the relationship between injury or pain and one or more of the following variables : training volume, intensity, duration, speed, distance, in adult recreational, amateur, novice, and/or inexperienced runners.

Results : Eleven cohort studies and two randomized trials, conducted between 1989 and 2019, met the eligibility criteria and were included. Six studies reported statistically significant associations between a training parameter and the risk of developing an injury.

Discussion : No causal link between training parameters and risk of injury could be established with certainty, attesting to the need for further research on the subject. Researchers are called upon to use standardized definitions and objective measures to reduce the heterogeneity of studies conducted in the field of running.

Key words : running injuries - training - intensity - duration - frequency - distance - speed

Titre (en français) : QUANTIFICATION DE LA CHARGE D'ENTRAÎNEMENT ET BLESSURES LIEES A LA COURSE A PIED : UNE REVUE SYSTEMATIQUE

Titre (en anglais) : QUANTIFICATION OF TRAINING LOAD AND RUNNING INJURIES: A SYSTEMATIC REVIEW

Résumé (en français) :

Introduction : Il a été suggéré les erreurs d'entraînement sont la cause de la plupart des blessures en course à pied. Certaines études s'accordent en effet à dire qu'une mauvaise adaptation de la charge d'entraînement représente un risque important de développer une *Running-Related Injury* (RRI), particulièrement chez les coureurs inexpérimentés. La charge d'entraînement, qui peut être évaluée par mesure de la fréquence, la vitesse, la durée, la distance et l'intensité de course, représente une estimation du niveau de sollicitation de l'organisme, et peut ainsi prédire le risque lésionnel. **Objectif :** L'objectif de la présente revue systématique était de compiler les données probantes d'articles examinant l'association entre la charge d'entraînement et les blessures liées à la course, et d'établir un lien de causalité entre ces variables. **Méthode :** Les bases de données PubMed, Pedro, Cochrane Library et Google Scholar ont permis le recueil d'études de cohorte et d'essais cliniques randomisés. Un seul investigateur a effectué la sélection des articles, l'extraction des données ainsi que l'évaluation des biais par l'intermédiaire des échelles QUIPS et Pedro. Les études ont été incluses si elles étudiaient la relation entre les blessures ou les douleurs et l'une ou plusieurs des variables suivantes : volume, intensité, durée, vitesse, distance d'entraînement, chez des coureurs adultes récréatifs, amateurs, novices et/ou inexpérimentés. **Résultats :** Onze études de cohortes et deux essais randomisés, conduits entre 1989 et 2019, remplissaient les critères d'éligibilité et ont ainsi été inclus. Six études rapportaient des associations statistiquement significatives entre au moins un paramètre de l'entraînement et le risque de développer une blessure. **Discussion :** Aucun lien de causalité entre les paramètres de l'entraînement et le risque de blessure n'a pu être établi avec certitude, attestant la nécessité d'effectuer de plus amples investigations sur le sujet. Les chercheurs sont appelés à utiliser des définitions standardisées et des mesures objectives afin de réduire l'hétérogénéité des études réalisées dans le domaine de la course à pied.

Résumé (en anglais) :

Introduction : It has been suggested that training errors are the cause of most running injuries. Indeed, some studies agree that poorly adapted training load represents a significant risk of developing Running-Related Injuries (RRI), particularly in inexperienced runners. Training load, which can be assessed by measuring running frequency, speed, duration, distance, and intensity, represents an estimate of the level of demand on the body, and thus may predict injury risk. **Objective :** The objective of this systematic review was to compile evidence from articles examining the association between changes in training load and running-related injuries, and to establish a causal link between these different variables. **Method :** PubMed, Pedro, Cochrane Library, and Google Scholar databases were used to collect cohort studies and randomized clinical trials. A single investigator performed article selection, data extraction, and bias assessment via QUIPS and Pedro scales. Studies were included if they investigated the relationship between injury or pain and one or more of the following variables : training volume, intensity, duration, speed, distance, in adult recreational, amateur, novice, and/or inexperienced runners. **Results :** Eleven cohort studies and two randomized trials, conducted between 1989 and 2019, met the eligibility criteria and were included. Six studies reported statistically significant associations between a training parameter and the risk of developing an injury. **Discussion :** No causal link between training parameters and risk of injury could be established with certainty, attesting to the need for further research on the subject. Researchers are called upon to use standardized definitions and objective measures to reduce the heterogeneity of studies conducted in the field of running.

Mots clés (en français) : blessures liées à la course - entraînement - intensité - durée - fréquence - distance - vitesse

Mots clés (en anglais) : running injuries - training - intensity - duration - frequency - distance - spe