



**INSTITUT DE FORMATION EN MASSO-
KINESITHÉRAPIE DE LA RÉGION
SANITAIRE DE LILLE**

François LAHY

Performance et technopathies : l'impact des chaussures de course à pied à plaque en fibres de carbone sur le membre inférieur chez les coureurs récréatifs sur route.

Sous la direction d'Antoine Perche, MKDE.

Mémoire entrant dans la validation des :

- UE.28 du Diplôme d'État en Masso-Kinésithérapie

Mémoire soutenu le 30 mai 2024

IFMK

10, rue Saint-Jean Baptiste de la Salle

59000 LILLE

REMERCIEMENTS

Je remercie toutes les personnes qui m'ont aidé et accompagné dans la réalisation de ce mémoire, à savoir, toute l'équipe pédagogique ainsi que les différents intervenants de l'Institut de Kinésithérapie Podologie Orthopédique de Lille durant ces quatre années d'études.

Je remercie également mon directeur de mémoire, Antoine PERCHE, préparateur physique et masseur-kinésithérapeute diplômé d'état.

Je souhaite enfin remercier mon épouse Fiona et mes parents, qui m'ont encouragé et soutenu tout au long de ces années d'études et qui m'ont permis de réaliser ma reconversion professionnelle avec succès.

SOMMAIRE :

1. INTRODUCTION.....	1
1.1. Contexte.....	1
1.1.1. La popularisation de la course à pied.....	1
1.1.2. L'importance de l'activité physique sur la santé physique et mentale.....	1
1.1.3. Les différents types de coureurs à pied.....	3
1.2. Rappels anatomiques et biomécaniques de la course à pied.....	4
1.2.1. La biomécanique de course.....	4
1.2.2. Les types de foulées	6
1.2.3. L'anatomie des muscles du membre inférieur lors du cycle de course.....	7
1.3. Pathologies du coureur à pied	9
1.3.1. Les pathologies récurrentes en course à pied.....	9
1.3.2. Les facteurs de risque.....	10
1.3.3. Les chaussures de course à pied comme facteur de risque extrinsèque.....	12
1.4. Chaussures à plaque en fibres de carbone (PFC).....	15
1.4.1. Les avantages attendus des plaques	16
1.4.2. L'impact biomécanique des chaussures à plaque en fibres de carbone	17
1.5. Problématique	19
1.6. Hypothèses.....	19
2. MATÉRIEL ET MÉTHODE.....	19
2.1. Recherche documentaire.....	19
2.2. Type d'étude.....	21
2.3. Population	21
2.4.1. Constitution du questionnaire	22
2.4.2. Diffusion du questionnaire.....	23
2.5. Traitement statistique.....	23
3. RÉSULTATS.....	23
3.1. Analyse générale de la population étudiée	24
3.1.1. Le sexe	24
3.1.2. L'âge.....	24
3.1.3. Le nombre de blessés	25
3.1.4. Le type de chaussures utilisé.....	25
3.1.5. L'utilisation des chaussures carbone.....	26
3.1.6. Le nombre de blessures selon le type de chaussures	27
3.1.7. Le type de pathologie selon le type de chaussures	28
3.1.8. L'utilisation des chaussures	30
3.1.9. Le nombre de sorties par semaine.....	31
3.1.10. Le nombre de kilomètres hebdomadaires	32
4. ANALYSE ET INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS.....	33
4.1. Lien entre le nombre de blessés et le type de chaussures utilisé.....	34
4.2. Lien entre le type de chaussures et le sexe.....	35
4.3. Lien entre le nombre de blessés et le sexe.....	36
4.4. Lien entre le type de chaussures et le nombre de sorties hebdomadaires	37
4.5. Lien entre le nombre de nombre de blessés et le nombre de sorties hebdomadaires ...	38
4.6. Lien entre le type de chaussures et l'âge des coureurs.....	41

4.7.	Lien entre le nombre de blessés et l'âge des coureurs.....	42
4.8.	Lien entre le type de chaussures et le nombre de kilomètres hebdomadaire.....	43
4.9.	Lien entre le nombre de blessés et le nombre de kilomètres hebdomadaires.....	45
5.	DISCUSSION	46
5.1.	Biais et limites de l'étude	49
5.1.1.	Biais lié à l'utilisation d'un questionnaire	49
5.1.2.	Biais lié de la population.....	50
5.1.3.	Biais lié à l'utilisation des chaussures	50
5.2.	Résultats corrélés à la littérature	50
6.	CONCLUSION ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE	51

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

1. INTRODUCTION

1.1. Contexte

1.1.1. La popularisation de la course à pied

La course à pied est l'un des sports les plus pratiqués dans le monde ; entre 10 et 20% de pratiquants réguliers sur les 12 derniers mois dans la plupart des pays européens (1).

C'est un sport qui ne nécessite pas d'équipement spécifique mais simplement un short, un t-shirt et une paire de basket, ce qui permet à n'importe qui de pratiquer assez facilement, sous réserve de ne pas avoir de contre-indication médicale. Selon les envies et les besoins, cette activité sportive peut être réalisée de manière régulière ou occasionnelle, en club ou non.

C'est également un sport qui ne cesse d'avoir de nouveaux adeptes. Comme le montre l'analyse statistique de l'INJEP (Institut National de la Jeunesse et de l'Education Populaire), on observe une hausse de 7 points par rapport à 2018, avec 47% de la population en 2022 ayant pratiqué au moins une fois la marche rapide ou la course à pied dans l'année (2).

On constate l'engouement pour la course à pied également à l'international, ne serait-ce qu'aux Etats-Unis où le « running », traduction anglaise de « course à pied » est fortement plébiscité avec plus de 50 millions de personnes ayant pratiqué au moins une fois dans l'année (3).

1.1.2. L'importance de l'activité physique sur la santé physique et mentale

Il n'est plus à démontrer que l'activité physique pratiquée de manière régulière, et non excessive, a des avantages non négligeables sur la santé physique et mentale. Ce sont d'ailleurs pour ces bénéfices que la plupart des coureurs pratiquent la course à pied. L'INSEE (Institut National de la Statistique et des Études Économiques) l'a d'ailleurs souligné dans sa dernière étude statistique de 2020 : « la santé et l'entretien physique sont les principales raisons qui les motivent à faire du sport (respectivement 83% et 77%) » (4).

On retrouve également de nombreuses études qui montrent l'impact de la course à pied sur le système nerveux, le système musculaire, le système cardio-vasculaire, le système articulaire, mais également sur la santé mentale et le bien être procuré.

S'agissant des bénéfices au niveau du système cardio-vasculaire, une recherche réalisée en 2014, reprenant plus de 15 ans de données sur la comparaison du nombre de décès entre les coureurs et les non coureurs, a démontré qu'une course d'au moins 5 à 10 minutes par jour à allure faible augmente de 3 ans l'espérance de vie, diminue de 30 à 45% le risque cardio-vasculaire et améliore la condition physique au repos (5).

Pour le système articulaire, il ressort d'une revue systématique avec méta-analyse publiée en 2015 sur les bénéfices de différentes disciplines sportives sur la santé que la course à pied apporte de réels bénéfices d'un point de vue cardio-vasculaire, métabolique, et sur les différents tissus. Cette revue précise également que le cartilage récupère bien après les courses à pied et s'adapte au fur et à mesure des sollicitations (6). Par ailleurs, selon une méta-analyse de 2017 sur l'arthrose de genou, il est pour le moment impossible de déterminer le lien de causalité entre la course à pied et l'arthrose de genou. Une revue systématique publiée en 2023 a également conclu que la course à pied n'est pas associée à une aggravation des lésions chondrales et qu'il n'y a pas non plus de différences à l'imagerie, mais qu'elle aurait un effet protecteur sur les tissus (7,8). Cela va donc à l'inverse des pensées des dernières années qui considèrent la course à pied, sur route notamment, comme l'un des principaux facteurs de risque d'arthrose.

Comme indiqué précédemment, il n'y a pas qu'au niveau de la santé physique que la pratique de la course à pied est intéressante. En effet, il y a de nombreux effets positifs sur la santé mentale, sur le bien être émotionnel, à travers la libération d'endorphines par exemple. Il a été démontré que la pratique de l'exercice permet de diminuer le stress et l'anxiété, et d'éviter la prise de médicaments en première intention (1,9).

Certaines personnes éprouvent ce bien-être en faisant partie d'une « communauté » de coureurs, en se lançant des défis par exemple ou en courant uniquement par plaisir (10). De plus, la motivation à pratiquer la course dépend, selon les études, du sexe. Il existe une différence entre les hommes qui courent plus pour la performance que les femmes alors qu'à l'inverse, les femmes courent plus pour perdre du poids et améliorer leur apparence physique que les hommes.

Par ailleurs, la notion de plaisir varie selon les coureurs et, d'après un article paru en 2019, il faut passer par trois étapes, en tant que coureur débutant, pour atteindre cette notion de plaisir et éviter l'arrêt prématuré de l'activité : l'appréciation de la « douleur » dans les entraînements, le dépassement de soi et l'apprentissage des techniques de course permettant l'amélioration continue (11). C'est la persévérance qui entraînera la notion de plaisir recherchée.

1.1.3. Les différents types de coureurs à pied

Chaque coureur est différent, qu'il court pour une raison ou pour une autre, de telle ou telle manière, mais il est important de caractériser ces « types de coureurs ».

La littérature est assez floue à ce sujet ; on retrouve dans de nombreux articles le qualificatif de « coureur récréatif » qui s'étend du coureur novice au marathonien et exclut les sprinteurs et les coureurs professionnels. C'est d'ailleurs sur ces « coureurs récréatifs » que ce mémoire de recherche portera principalement.

Dans la revue systématique concernant les blessures associées à différents types de coureurs, publiée en 2015 (12), le terme de coureur récréatif est défini comme tel : « coureurs non compétitifs ou coureurs participant à des courses sur route de moins de 10 km ». Dans une autre revue systématique publiée en 2020 sur la périostite du coureur récréatif (13), il est considéré comme étant un « coureur qui a au moins 3 mois d'expérience en course à pied ».

Il est donc difficile de définir précisément ce terme de coureur récréatif mais il faut retenir qu'il diffère du coureur « occasionnel », qui ne s'entraîne pas de manière régulière et n'a aucun objectif particulier, et du coureur « professionnel » pour qui c'est le métier.

En tant que masseur-kinésithérapeute, il est important d'identifier le type de coureur qu'est le patient qui vient consulter car la réflexion sur la prise en charge et le traitement à apporter face à une blessure peuvent être différents selon ses caractéristiques de course. Par exemple, un coureur de fond préparant un marathon n'aura pas d'autre choix que d'augmenter son volume d'entraînement ainsi que le stress mécanique sur ses muscles et ses tendons, ce qui entraînera un risque plus élevé de blessure (14,15). Une étude de cohorte de 2019 portant sur 706 coureurs récréatifs, a également mis en avant le fait qu'un coureur récréatif préparant une course a un risque de blessure supplémentaire de 20% par rapport à un coureur occasionnel (16).

Par ailleurs, comme l'a dit, à juste titre, Blaise Dubois, fondateur de la Clinique du Coureur : « les coureurs se blessent car ils en font trop, trop vite. Ils ont mal quantifié leur stress mécanique. »

La notion de stress mécanique est une notion simple mais indispensable à transmettre aux patients. Néanmoins, avant même de parler de stress mécanique, il est nécessaire de s'accorder sur la définition de la blessure, qui n'est pas la même pour les professionnels de santé entre eux, et encore moins entre les différents patients. Un consensus de plus de 26 experts a permis de déterminer en 2015 une définition de la blessure des coureurs récréatifs grâce à une

étude Delphi. La définition adoptée par ces experts est la suivante : « douleur musculosquelettique liée à la course (à l'entraînement ou en compétition) dans les membres inférieurs qui provoque une restriction ou un arrêt de la course (distance, vitesse, durée ou entraînement) pendant au moins sept jours ou trois séances d'entraînement programmées consécutives, ou qui oblige le coureur à consulter un médecin ou un autre professionnel de santé » (17).

La majorité des blessures répondent à une charge excessive, équivalent à un stress mécanique exercé sur une partie du corps, le corps n'ayant pas le temps de s'adapter aux modifications. Cette charge excessive peut provenir d'un volume important d'entraînements, d'un nombre de kilomètres élevé, d'allures trop rapides ou encore d'un matériel inadapté.

Comme indiqué précédemment, les blessures peuvent être différentes selon le type de coureur, il est donc nécessaire d'identifier les blessures les plus récurrentes et les facteurs de risque intrinsèques ou extrinsèques. Pour cela, il faut, a minima, connaître l'anatomie du membre inférieur et les schémas biomécaniques qui s'appliquent lors de la course à pied.

1.2. Rappels anatomiques et biomécaniques de la course à pied

1.2.1. La biomécanique de course

« Comme dans la marche, la course à pied est composée d'une série de pas au cours desquels le mouvement vers l'avant s'effectue en plantant successivement les pieds gauche et droit dans le sol » (18).

De la même manière, la course est décrite à travers le cycle de course qui se compose d'une phase oscillante, quand le pied est en l'air, et d'une phase d'appui, quand il est au sol. A l'inverse du cycle de marche, il n'y a pas de phase de double appui, mais un enchaînement de « phases » de simple appui séparé par des phases d'envol. Cette phase d'appui représente, selon les différents écrits, 25 à 40% de la durée totale du cycle et la phase oscillante 60% à 75% ; proportion qui varie selon la vitesse de course.

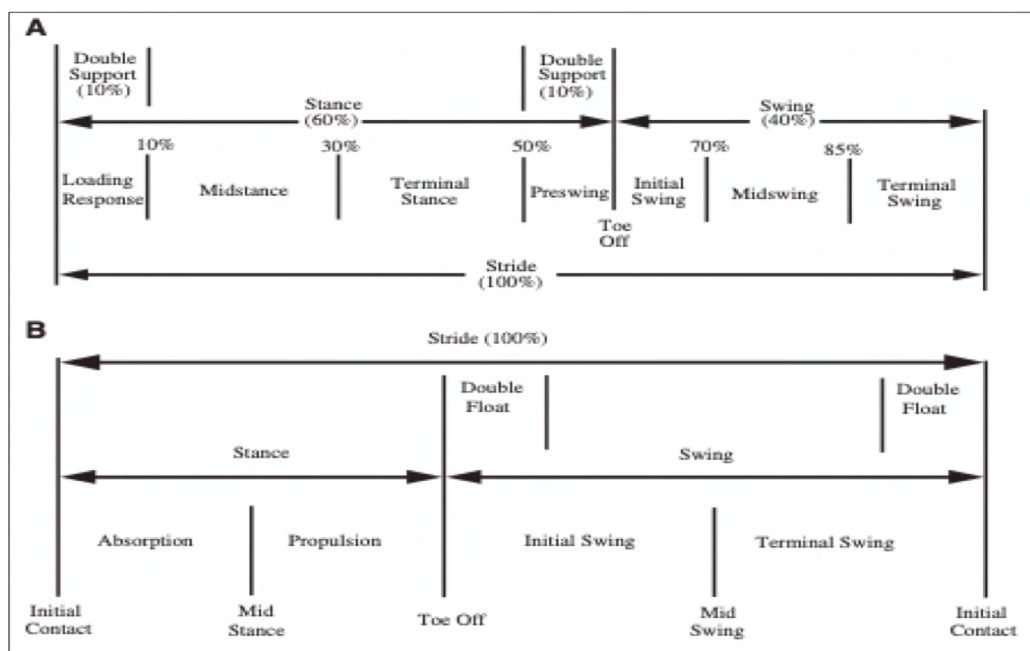


Figure 1 : Analyse du cycle de marche (A) et analyse du cycle de course (B) – Dugan et Bhat, 2005.

Différents paramètres sont à prendre en compte afin de modifier cette vitesse de course, à savoir, la longueur de la foulée, qui est composée de deux pas et correspond donc à la distance parcourue, ainsi que la cadence, qui correspond au nombre de foulées par unité de temps.

La cadence est calculée simplement en comptant le nombre de pas par minute. « Les cadences lentes (140 à 160 pas par minute), souvent observées chez les coureurs récréatifs, augmentant la phase de freinage et la vitesse de la force d'impact, incitent à une attaque talon en avant du centre de gravité. Ce type de foulée augmente le stress mécanique sur l'ensemble du corps » (19). Il est donc possible de travailler sur la cadence de pas afin de diminuer le stress mécanique et le risque de blessure. En effet, pendant la course, à l'inverse de la marche, le déplacement vertical du corps est plus grand, la vitesse au moment de l'impact est de ce fait plus élevée et la contrainte plus importante sur les tissus et les muscles.

Néanmoins, lorsque la cadence de pas augmente, de nombreuses modifications biomécaniques de course apparaissent. Le temps de contact au sol et la force d'impact diminuent, tout comme le travail musculaire nécessaire pour avancer. La cadence est un facteur facilement modifiable et permet une baisse du nombre de blessures (19).

Les deux composantes, verticales et horizontales, sont importantes à déterminer afin de comprendre la cinétique de course.

« La composante verticale de la force de réaction du sol en course est directement liée à la masse du corps, en application de la deuxième loi de Newton. La composante verticale en

course à pied est de l'ordre de 2 à 2,5 fois le poids » (18). Il va de soi que plus la vitesse de course augmente, plus cette composante augmente. En effet, dans ce cas, le temps de contact au sol diminue et donc « la vitesse avec laquelle la force est appliquée au corps augmente de façon significative » (18). La force d'impact dépend du type de foulée.

« La composante horizontale de la force en fonction du temps montre l'existence d'une phase de freinage et d'une phase de propulsion en course à pied » (18). Lors de la phase d'appui, la vitesse est réduite par la force de réaction au sol qui s'oriente en arrière vers le centre de masse. A l'inverse, lorsque démarre le décolllement du pied, la force s'oriente vers l'avant et va augmenter la vitesse afin de décoller rapidement le pied et atteindre la phase de suspension. Lorsqu'un coureur court à allure constante, ces deux forces (freinage et accélération) sont égales ; réciproquement, quand il doit accélérer ou réduire sa vitesse, l'allure, la foulée, la cadence et la consommation d'énergie seront modifiées.

Ainsi qu'il a été mentionné ci-dessus, la cadence et la foulée sont deux facteurs importants à maîtriser afin de limiter le risque de blessure et d'optimiser la consommation énergétique en course. La cadence, qui oscille entre 140 et 180 pas par minute en moyenne est facilement modifiable. A l'inverse, il existe différents types de foulées ou d'attaques du pied qui sont spécifiques à chaque coureur. La foulée est plus difficile à modifier que la cadence car elle impacte tout le cycle de course et le schéma biomécanique de l'athlète.

1.2.2. Les types de foulées

La littérature est unanime pour dire qu'il existe trois types de foulées ou d'attaques du pied correspondant à quasi 100% des coureurs à pied : l'attaque taligrade, l'attaque médio-pied et l'attaque avant-pied.

Premièrement, l'attaque taligrade, qui est la plus répandue et aussi appelée « attaque-talon », débute à la « partie postéro-latérale du talon et se finit sur la dernière phalange de l'hallux » (20). Cette attaque se compose de trois phases :

- l'amortissement, qui débute par le talon au sol à sa partie postéro-latérale, et se termine lorsque l'avant-pied touche le sol, le tout avec une rotation médiale du tibia et une pronation du pied au niveau subtalaire ;
- le soutien, qui débute avec le pied complètement en contact avec le sol jusqu'au décolllement du talon, le tout avec une rotation latérale du tibia et une supination du pied préparant la propulsion ;

- la propulsion, qui débute au décolllement du talon jusqu'au décolllement des orteils.

Selon Paul Grimshaw dans son ouvrage *Biomécanique du sport et de l'exercice*, publié en 2021, « environ 80% des coureurs déroulent du talon aux orteils, ce qui produit un modèle typique des forces de réaction au sol » (18). Il est possible de faire le lien entre l'attaque taligrade et la cadence lente d'une majorité des coureurs récréatifs, qui pourrait expliquer le nombre conséquent de blessures chez ce type de coureur.

Deuxièmement, l'attaque digitigrade, aussi appelée « avant-pied », qui, selon Arnaud Delafontaine dans son livre « *Locomotion humaine : marche, course* », concerne « 1 à 2% des coureurs élités » (21) se décrit par « le premier contact de chaque foulée qui se fait dans la zone tarso-métatarsienne » (20).

Troisièmement, l'attaque médio-pied correspond à un compromis entre l'attaque taligrade et digitigrade et se décrit par une foulée avec la quasi-totalité ou totalité de la plante du pied.

Pour les coureurs ayant une attaque digitigrade ou une attaque médio-pied, la composante verticale est diminuée par rapport aux coureurs ayant une attaque taligrade. Le centre de gravité est projeté vers l'avant et de ce fait la vitesse augmente. Ces athlètes subissant moins d'impact, ils sont donc moins assujettis à un risque de blessure. De plus, dans ces types d'attaque, il existe une chaîne musculaire parallèle permettant un meilleur amortissement au sol. Elle se compose au sol du grand fessier, du quadriceps et du triceps sural, qui, par le mouvement de flexion plantaire, assure cet amortissement par la contraction excentrique plus ou moins importante de ses muscles, à savoir, les gastrocnémiens et le soléaire.

1.2.3. L'anatomie des muscles du membre inférieur lors du cycle de course

Lors du cycle de course, les muscles du membre inférieur travaillent en chaîne musculaire et ont un rôle à jouer à chaque partie du cycle.

L'activité musculaire des principaux muscles lors de la course est mise en évidence ci-dessous (fig 2.). Celle-ci est généralement maximale avant l'impact initial, c'est-à-dire lors de la phase d'appui de 0 à 15%, et, directement après, de 60 à 100% de la phase oscillante.

Lors de la phase d'appui, les fléchisseurs et extenseurs de hanche, à savoir, le quadriceps et le grand fessier, permettent de ralentir et contrôler l'avancée du corps, ainsi qu'il apparaît dans le tableau.

Lors du début de la phase oscillante, ou de suspension, c'est la chaîne postérieure et plus particulièrement les ischio-jambiers et le triceps sural qui réalisent le mouvement d'extension de hanche et de flexion de genou afin de propulser le corps vers l'avant. C'est pourquoi on observe dans le tableau que l'activité de ces muscles est prépondérante pendant la quasi-totalité de cette phase.

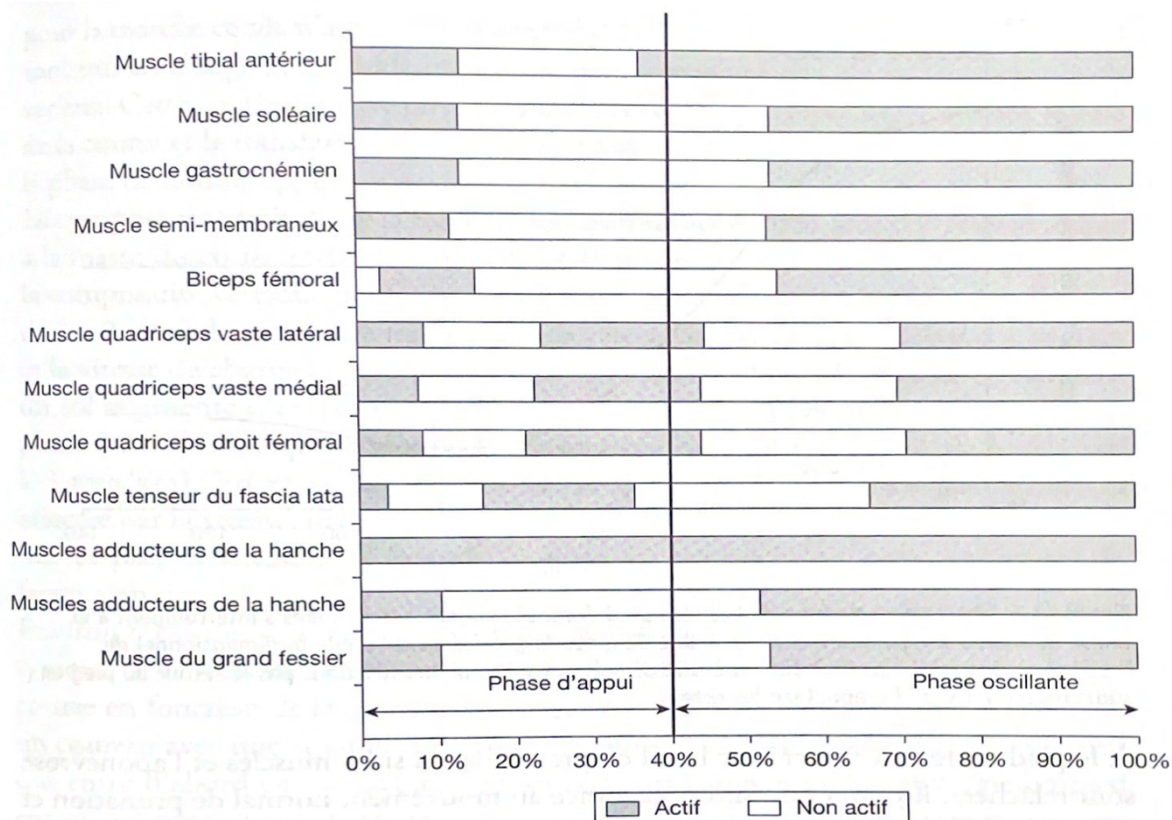


Figure 2 : Activités musculaires pendant la course. 0% représente l'attaque talon, 100% la frappe suivante du même talon – *Biomécanique du sport et de l'exercice, Paul Grimshaw et al, 2021.*

A travers ces éléments, on constate que ces différents muscles sont tous susceptibles d'être atteints lors de blessures sur le membre inférieur pendant la course, c'est pourquoi il convient d'analyser les pathologies du coureur à pied.

1.3. Pathologies du coureur à pied

1.3.1. Les pathologies récurrentes en course à pied

Comme on l'a vu précédemment, la course à pied a des effets non négligeables sur la santé physique et mentale des coureurs, encore faut-il qu'il leur soit possible de courir. En effet, certaines personnes ne peuvent pas pratiquer cette activité en raison d'un handicap. Celui-ci est déterminé selon la Classification Internationale du Fonctionnement, du Handicap et de la Santé (CIF) adoptée en 2001 par l'Organisation Mondiale de la Santé et prend en compte plusieurs facteurs à savoir : les fonctions organiques, les structures anatomiques, les limitations d'activité, les restrictions de participation à une situation de vie et les facteurs environnementaux (22).

De nombreuses méta-analyses et revues systématiques ont classé les blessures les plus fréquentes chez les coureurs à pied.

La première revue systématique étudiée, publiée en 2021, sur les blessures musculo-squelettiques liées à la course à pied, a analysé trois bases de données (SPORTDiscus, PubMed et MEDLINE) de 1962 à 2020. Il en ressort que les blessures sont plus ou moins équivalentes sur les coureurs récréatifs, les marathoniens ou les ultra-marathoniens. Il s'agit essentiellement de blessures à la cheville et au genou : « les blessures avec la plus haute incidence sont la périostite (19,4%), le syndrome fémoro-patellaire (15,8%) et la tendinopathie du tendon d'Achille (13,7%) ». Lorsque ces chiffres sont additionnés, le résultat de 48,9% apparaît et indique qu'en prenant seulement trois des pathologies les plus courantes, quasi un coureur sur deux blesse au cours de l'année. Chez les coureurs récréatifs, on retrouvera également l'entorse de cheville qui n'apparaît quasi-jamais chez les marathoniens et les ultra-marathoniens (23).

Il ressort d'une autre revue systématique de 2015, sur les différentes blessures selon le type de coureur et qui a regroupé plus de 86 articles, que : « les sprinters présentaient le plus petit nombre de blessures au genou (1,3 %), tandis que la proportion de blessures dans les autres populations variait de 22,5% (chez les coureurs de fond) à 30,6% (chez les coureurs débutants). La plupart des blessures chez les coureurs récréatifs ont été signalées autour du genou (26,3%). Les coureurs débutants (34,7%), les coureurs de fond (30,3%) et les marathoniens (29,9 %) ont signalé le plus de blessures au bas de la jambe. Les athlètes de sprint n'ont pas signalé de blessures à la cheville ; cette fourchette variait de 7,8% (chez les coureurs récréatifs) à 16,2% (chez les coureurs de fond) dans les autres populations. Les coureurs

débutants et les sprinteurs ont signalé des proportions de blessures au pied de 3,5 et 4,0%, respectivement. Pour les coureurs de fond (8,1%), les coureurs récréatifs (10,1%) et les marathoniens (13,1%), le nombre de blessures au pied était plus élevé ». On observe donc que, pour les coureurs récréatifs, ce sont essentiellement les blessures au genou et à la cheville qui reviennent en proportion élevées, comme mentionné ci-avant (12). A l'inverse, les nombreuses données font état de peu de blessures signalées chez les pratiquants de sprint. C'est pourquoi cette population de coureur ne sera pas étudiée dans ce mémoire.

Une dernière revue systématique de 2019 reprend également toutes les blessures liées à la pratique de la course à pied. Les conclusions sont quasi-identiques aux méta-analyses précédentes, à l'exception près qu'elle ajoute aux douleurs fémoro-patellaires, de la tendinopathie d'Achille et au syndrome de stress tibial, le syndrome de la bandelette ilio-tibiale et la fasciite plantaire (24).

Le problème majeur de ces blessures est qu'elles entraînent une réduction voire l'arrêt de la course à pied, ce qui peut être problématique notamment lorsque le coureur a une échéance et un objectif de course. Il ne faut pas négliger non plus l'aspect psychologique de la pratique de la course à pied et l'impact que l'arrêt de l'activité peut avoir sur l'athlète. Il est donc indispensable de se pencher sur les facteurs de risque de ces blessures afin de déterminer le champ d'action possible du masseur-kinésithérapeute en prévention primaire ou lors du traitement conservateur.

1.3.2. Les facteurs de risque

Afin d'étudier les facteurs de risque de blessures, il est important de les déterminer de manière globale, mais également de manière spécifique à chaque pathologie, car, comme il l'a été mentionné ci-avant, les blessures diffèrent selon le type de coureur.

D'un point de vue global, une étude rétrospective de 12 mois sur 258 coureurs récréatifs, publiée en 2023, a conclu que « 51% des coureurs ont subi une blessure, le mollet étant le plus souvent touché. » L'étude a révélé notamment la présence de quatre facteurs de risque : « les antécédents de blessures, les chaussures, l'entraînement à un marathon et la cinématique de course » (15). Cette donnée d'un coureur blessé sur deux ressort une nouvelle fois, comme dans la majorité des articles et revues et peut donc être considérée comme un fait.

Une autre revue systématique de 2015, sur les blessures chez les coureurs à pied, qui a étudié plus de 400 articles afin de déterminer un facteur de risque clé des blessures en course à pied a conclu que « les blessures antérieures, soignées ou non sont le facteur de risque majeur » de blessure sur le membre inférieur (25). D'autres facteurs intrinsèques interviennent également comme « un âge entre 45 et 65 ans, un IMC supérieur à 30 kg/m², être un coureur récréatif ».

La même conclusion, à savoir que les blessures antérieures représentent le facteur de risque majeur, ressort également d'une autre étude rétrospective qui s'attarde sur 930 personnes suivies pendant 1 an et dont 254 ont été blessées (26).

Une autre revue systématique avec méta-analyse de 2021 a cherché à déterminer si le sexe pouvait être un facteur de risque de blessure. Après analyse de 12 215 articles, il en ressort que « le sexe ne semble pas présenter un facteur de risque spécifique si on considère la fréquence globale des blessures en course à pied ». Néanmoins, il existe quelques différences à savoir que les coureurs sont plus assujettis aux tendinopathies d'Achille quand les coureuses sont plus touchées par des lésions osseuses. De plus, « la distance de compétition de course à pied (10 km) » est considérée comme un facteur de risque plutôt chez les hommes (27).

L'analyse de la foulée a également été réalisée par plusieurs études afin de déterminer si une attaque digitigrade ou une attaque médio-pied ou une attaque taligrade peut être un facteur de risque de blessures. Une revue systématique, publiée en 2021, reprenant les blessures selon le type de foulée entre 1960 et 2020 ainsi qu'une analyse cas-témoins de 550 athlètes blessés de 2021 ont été réalisées. Il ressort de la revue qu'il n'y a que peu de lien entre le risque de blessures et la foulée, alors que l'analyse cas-témoins indique qu'une « frappe au milieu du pied entraînerait plus de blessures au tendon d'Achille alors qu'une attaque avant pied entraînerait plus de blessures en bas de la jambe » (28,29).

D'autres facteurs sont rarement étudiés, comme les facteurs psychosociaux, alors que « les réponses au stress et les antécédents de facteurs de stress présentent les associations les plus fortes avec les taux de blessure » (30). En effet, la recherche permanente de performance, la comparaison aux autres et le dépassement de soi, sans tenir compte des signaux envoyés par le corps, sont des facteurs de risque de blessure à prendre en compte. C'est ce que montre une étude publiée en 2021 sur l'évaluation du lien entre blessures et performance de course. « Courir pour atteindre un objectif de course, spécifiquement pour atteindre une certaine distance et participer à une course est associé à un risque élevé de blessure » (31).

Par ailleurs, concernant les facteurs extrinsèques, de nombreux articles ont cherché à mettre en évidence l'impact de différents entraînements sur les coureurs. Une étude de cohorte sur 200 coureurs récréatifs réalisée en 2013 a déterminé que les types d'entraînement, notamment les séances de vitesse sont associées à un risque plus important de blessure que les entraînements en intervalle (32). C'est donc un facteur à ne pas négliger et qui permet de prédire certaines blessures afin de les éviter.

Enfin, la notion de charge d'entraînement est également à prendre en compte, que ce soit chez les professionnels de santé mais aussi chez les coureurs. Il faut savoir que la majorité des blessures chez les coureurs à pied provient d'une mauvaise gestion de la charge d'entraînement. C'est ce que nous rappelle la revue systématique sur les blessures liées au surmenage, publiée en 2022 : « les origines des blessures liées à la surutilisation sont complexes mais résultent principalement d'une accumulation de stress répétitif appliqué au corps sans repos suffisant pour le remodelage tissulaire, entraînant une dégénérescence tissulaire ».

Chaque personne réagit de manière spécifique à la surcharge et la réponse au stress peut être liée au mode de vie, aux facteurs génétiques, ou au type d'entraînement (33). En tant que professionnel de santé, le masseur-kinésithérapeute doit prendre en compte toutes ces caractéristiques et vérifier que la charge de travail est adaptée.

En conclusion, la recherche perpétuelle de performance, le stress de ne pas être à la hauteur lors d'une course ou à l'entraînement et la comparaison aux autres athlètes sont corrélés à un fort risque de blessure. De plus, de nombreuses marques mettent sans arrêt en avant de nouvelles technologies, comme les chaussures de course à plaque en fibres de carbone (PFC) dont les premières sont sorties en 2017, ce qui accentue cette volonté permanente de performance et de vitesse.

1.3.3. Les chaussures de course à pied comme facteur de risque extrinsèque

C'est un fait, la chaussure de course à pied est considérée comme un facteur de risque extrinsèque de blessures. C'est ce qui a notamment été démontré dans une revue systématique de 2019 sur l'évaluation des chaussures de course à pied (34). Toutefois, c'est un facteur qui est modifiable, c'est-à-dire qu'il est possible de limiter voire empêcher ce risque de blessure. En reprenant les principales blessures recensées ci-avant de manière spécifique à travers différentes méta-analyses, revues systématiques et narratives, on constate que le facteur de risque « équipement et chaussures de courses inadaptées » ressort à de nombreuses reprises.

Premièrement, s'agissant de la tendinopathie d'Achille, divers articles ont indiqué que « des facteurs extrinsèques influencent le tendon de l'extérieur. Les plus importants sont les charges excessives et les charges de fatigue, les charges répétitives au-delà du spectre physiologique qui peuvent provoquer : des microtraumatismes, des charges inappropriées (par exemple, en raison d'une technique sportive incorrecte et/ou d'un équipement inapproprié) et la non-utilisation » (35).

Une autre revue systématique, qui a analysé 139 articles s'intéressant à la tendinopathie d'Achille dans son ensemble, à savoir, la physiologie, la pathogénèse et les facteurs de risque, a recensé 13 articles impliquant directement l'équipement et les chaussures de course à pied comme facteur extrinsèque de risque de blessures (36).

Deuxièmement, concernant le syndrome fémoro-patellaire, qui représente plus de 15% des blessures chez le coureur à pied (12), la chaussure de course à pied est considéré comme étant un facteur de risque non négligeable. En effet, une étude publiée en 2022 a comparé le risque de syndrome fémoro-patellaire selon le « drop » de la chaussure, qui correspond à la différence de hauteur entre l'avant et l'arrière de la chaussure, et en a conclu que « la contrainte articulaire fémoro-patellaire maximale a été augmentée lors de la course avec des chaussures ayant un drop supérieur à 5 millimètres par rapport à des chaussures sans drop » (37).

Afin de limiter ce risque de blessure, il est essentiel de s'intéresser à minima à la chaussure de course. Les termes « minimalistes », « maximalistes », « drop » sont très souvent employés par les professionnels de santé ou les spécialistes du running.

Les chaussures minimalistes sont définies par la Clinique du Coureur comme des « chaussures offrant une interférence minimale avec le mouvement naturel du pied en raison de leur grande flexibilité, de leur faible chute du talon aux orteils, de leur poids et de leur hauteur, et de l'absence de contrôle des mouvements et dispositifs de stabilité » (38). Elles ont pour objectif de limiter au maximum toutes les technologies apportées aux chaussures afin de protéger le pied du coureur et de l'amener à une mécanique de course la plus naturelle possible et ainsi réduire le risque de blessure.

Les chaussures maximalistes, à l'inverse, intègrent de nombreuses technologies (mousses, bulles d'air, PFC) et s'éloignent de la foulée naturelle. Néanmoins, ce sont ces chaussures qui dominent le marché et qui sont utilisées par la majorité des coureurs.

Pour comprendre plus facilement le fonctionnement des chaussures de course à pied, la Clinique du Coureur explique de façon schématique les cinq caractéristiques composant

l'Indice Minimaliste (flexibilité, poids, épaisseur, drop, technologie de stabilité) qui va de 0 à 100%. Cet indice peut être appliqué à tout type de chaussures :

- la flexibilité est la première caractéristique : plus la chaussure est souple, plus elle s'adapte aux propriétés physiologiques et biomécaniques de l'athlète. C'est donc tout l'inverse de ce qu'offrent les chaussures à PFC qui intègrent une semelle rigide et indéformable ;
- le poids est la seconde caractéristique : plus la chaussure est légère plus la possibilité de performance est élevée grâce à l'économie d'énergie obtenue ;
- l'épaisseur de la chaussure faible et sans amorti est la troisième caractéristique : elle permet une meilleure transmission des informations en provenance du sol et offre donc une foulée protectrice ;
- le drop est la quatrième caractéristique, celle dont les professionnels parlent le plus et qui concerne la majorité des chaussures en vente sur le marché : plus le drop est élevé, c'est-à-dire plus le talon est élevé par rapport à l'avant pied, plus on s'éloigne de la foulée dite « naturelle » ;
- la dernière caractéristique concerne les technologies de stabilité : ici, c'est le confort de la chaussure qui est recherché, avec toutes les technologies possibles comme les bulles d'air, les amortis et tout élément de soutien visant à corriger la pronation du pied.

Chacune de ces caractéristiques vaut cinq points, lesquels sont additionnés et le total est multiplié par 4. Le résultat obtenu donne un pourcentage d'indice minimaliste. Plus l'indice est élevé et proche de 100, plus la chaussure sera considérée comme minimaliste et, à l'inverse, plus l'indice se rapproche de 0, plus la chaussure sera considérée comme standard voir maximaliste. Il n'y a néanmoins aucun consensus sur les chiffres précis à partir desquels une chaussure est ou non minimaliste.

L'objectif de l'Indice Minimaliste est de permettre aux coureurs de choisir plus facilement le ou les modèle(s) de chaussures qui leur convient le mieux, tout en prenant en compte les blessures antérieures et la biomécanique de course. La chaussure minimaliste sera donc une chaussure légère, très souple, avec un drop proche de 0 mm, sans aucune technologie et sans amorti, et qui est censée se rapprocher au maximum de la foulée naturelle.



Figure 3 - Crédit photo : La Clinique du Coureur MC, 2012.

A travers cette partie, il a été présenté les différents facteurs de risque pouvant entraîner des blessures en course à pied, selon le type de coureur.

S'agissant des facteurs intrinsèques, les blessures antérieures, le type de foulée, l'âge entre 45 et 65 ans et l'IMC $> 30 \text{ kg/m}^2$ sont les plus importants, le sexe n'étant pas un facteur de risque mais plutôt un facteur différenciant de blessures. On peut également ajouter tous les facteurs psycho-sociaux, comme le stress et la recherche de performance.

S'agissant des facteurs extrinsèques, le type d'entraînement et les chaussures de course à pied sont les facteurs les plus récurrents. Néanmoins, il n'y a, pour le moment, pas de données sur le risque de blessure spécifique à chaque chaussure de course à pied, ainsi qu'il a été confirmé par la méta-analyse de 2014 sur les risques et bénéfices liés à l'utilisation de chaussures maximalistes, de chaussures minimalistes ou la course à pieds nus (39).

1.4. Chaussures à plaque en fibres de carbone (PFC)

A l'inverse des chaussures minimalistes visées ci-dessus, les chaussures à plaque en fibre de carbone font partie des chaussures maximalistes et sont donc, par définition, moins adaptées à la biomécanique et à la foulée naturelle du coureur. C'est pourquoi, il est intéressant de se pencher sur l'engouement des athlètes, depuis quelques années, pour cette nouvelle technologie.

1.4.1. Les avantages attendus des plaques

De nombreuses études se sont intéressées à ce sujet et notamment sur la « promesse » des revendeurs annonçant des gains en termes d'économie de course et de vitesse grâce à la rigidité de ces plaques et la redistribution d'énergie.

Nike a été à l'origine de ces chaussures et les premières études ont donc été faites sur cette marque, notamment sur la Nike Vaporfly. L'une d'entre elle a été faite sur les temps réalisés par les coureurs sur des marathons entre 2015 et 2019, et il en est ressorti que les athlètes ont couru plus rapidement : « entre 2 et 3,9 minutes pour les coureurs et 3,5 minutes pour les coureuses » (40). Toutefois, les conditions de marathon n'étant pas strictement identiques chez tous les athlètes objets de cette étude, elle ne peut donc être prise en compte à elle seule.

Une autre étude réalisée par Hoogkamer en 2018 a comparé les coûts énergétiques des chaussures de course à pied sur marathon. Des chaussures prototypes (plus légères, semelle rigide) ont été proposées à 18 athlètes professionnels et il a été démontré que « ces prototypes ont réduit le coût énergétique de la course de 4% en moyenne » (41). Ce qu'il faut surtout retenir de cette étude, ce n'est pas le potentiel coût énergétique moyen, mais c'est qu'il n'en reflète pas l'aspect individuel et, malheureusement, ce sont souvent les « gros titres » d'articles qui sont retenus par les coureurs et mis en avant par les marques. En effet, parmi les athlètes ayant utilisé ces chaussures prototypes, certains d'entre eux bénéficiaient d'un coût énergétique de plus de 5% quand d'autres étaient à - 4%.

Par ailleurs, il ressort d'une revue narrative de la littérature, réalisée en 2021 sur les chaussures à PFC (aussi appelée chaussures de course à rigidité longitudinale dont le mouvement de flexion de la chaussure est limité par la plaque carbone), que « sur le plan biomécanique, l'augmentation de la rigidité en flexion longitudinale a un grand impact sur la mécanique des articulations métatarso-phalangiennes (MTP) et de la cheville » (42). Il n'y a que très peu d'études sur la modification biomécanique engendrée par ce type de chaussure et celles qui existent se concentrent le plus souvent sur les athlètes élites. Néanmoins, ce sont ces athlètes qui sont supposés être les coureurs les plus concernés par ce type de plaque. Un essai randomisé de 2019 s'est penché sur le gain d'énergie et la modification de foulée de dix marathonniens. Il en est ressorti que « le moment extenseur maximal de cheville était plus faible dans les chaussures à plaque » et que le « travail de l'articulation métatarso-phalangienne était réduit » par rapport aux autres chaussures. Cet article de Hoogkamer conclut sur la présence d'une potentielle diminution de l'activité musculaire au niveau de la cheville, sans préciser

explicitement les muscles concernés, mais également sur la rigidité de la plaque carbone au niveau de l'articulation MTP (43).

Un article d'opinion a été réalisé en 2023. Il ne concerne que les athlètes et/ou triathlètes élités ou juniors de 17 à 38 ans et cherche à décrire les avantages des chaussures à plaque. Cet article « reconnaît les avantages en terme de performance décrits dans la littérature » mais met également en avant l'importance d'identifier des facteurs de risque liés à ces chaussures car les athlètes ont eu tendance à rapporter des douleurs de type osseuse et notamment sur la zone de l'articulation « MTP »(44). Il est donc légitime de se questionner sur le risque de blessure lié à ces plaques.

La dernière étude publiée à ce jour, qui date de 2022, a comparé le dernier modèle Nike Vaporfly 4% (NVP4) aux Saucony Endorphin (SE) et à des chaussures ne bénéficiant pas de PFC. Elle a été réalisée sur 18 coureurs masculins en laboratoire et l'objectif était de remettre en cause l'étude de Hookgamer sur l'économie énergétique de course. Il en ressort que la « NVP4 a réduit la consommation d'oxygène et le coût énergétique chez les coureurs récréatifs masculins par rapport à leur paire habituelle en moyenne de 4,3 à 4,8% pour toutes les intensités examinées ». Ce résultat vient finalement confirmer les conclusions de Hookgamer.

Le coût énergétique n'est pas la seule caractéristique à prendre en compte. En effet, la NVP4 a amélioré les performances en course sur 3 km par rapport aux 2 autres chaussures : « les améliorations sont de 1,8% à 2,4% » (45).

On observe qu'il n'y a que très peu de données sur ces fameuses chaussures de course à plaque en fibres de carbone et c'est pourtant sur cette vague que surfent les industriels, à l'aide d'un marketing rôdé qui plaît au plus grand nombre. De plus en plus de coureurs récréatifs adoptent ces paires de chaussures, malgré un recul assez faible sur la modification des schémas anatomiques, sur le risque de blessures mais surtout, sur le réel intérêt en termes de performance qui diffère d'une étude à l'autre.

1.4.2. L'impact biomécanique des chaussures à plaque en fibres de carbone

La technologie des nouvelles chaussures à PFC étant assez récente, il n'y a que peu de recul sur l'impact biomécanique sur le membre inférieur.

L'augmentation de la rigidité longitudinale entraîne une modification de la mécanique articulaire de la cheville et du genou. Plus précisément, dans une analyse biomécanique, Hoogkamer et al. ont constaté que « la plaque incurvée en fibres de carbone du prototype

entraînait des taux de travail inférieurs au niveau de la cheville et une réduction de la dorsiflexion par rapport aux chaussures témoins » (46).

Trois études ont essayé de décrire de manière différente cet impact :

- la première étude, parue en 2017 après l'apparition de cette nouvelle technologie, a tenu à évaluer les modifications métaboliques des articulations en fonction de la rigidité longitudinale. Les résultats sont les suivants : « une rigidité élevée en flexion de la semelle intérieure perturbait la flexion de la MTP et réduisait le transfert du couple de l'articulation de la cheville vers la poussée au sol en allongeant le bras de mouvement » (47) ;
- la deuxième étude, de Hookgamer en 2022, a comparé deux chaussures à PFC, l'une sans modification, l'autre découpées à plusieurs endroits, afin de déterminer ou non si la rigidité en flexion et en extension modifie la biomécanique. La conclusion de cette étude est que « les découpes réalisées sur la plaque en fibres de carbone a permis une meilleure dorsiflexion par rapport aux chaussures témoins » (46) ;
- la troisième étude a été réalisée en 2020 sur 15 athlètes courant sur tapis avec une paire carbone de chez Adidas, les Adizero, et une paire sans plaque, les Adios Boost 2. Deux sessions ont été réalisées afin de déterminer un éventuel impact musculaire des chaussures à PFC. Les résultats obtenus sont très peu significatifs : « l'ajout de plaques en fibre de carbone aux semelles des chaussures modifie légèrement la biomécanique des muscles du corps entier et des mollets, mais peut ne pas améliorer l'économie de course » (48).

Il faut aussi prendre en compte le fait que chaque marque conçoit sa chaussure de manière différente. Par exemple, le drop varie en fonction de chaque fabricant. Un drop plus élevé (généralement entre 8 et 12 mm) peut, comme il a été expliqué précédemment, augmenter le risque d'apparition d'une pathologie comme pour le syndrome fémoro-patellaire. Toutefois, il peut également servir à décharger un tendon, comme par exemple le tendon d'achille touché dans la tendinopathie achilléenne en réduisant son activité.

Il ressort de l'ensemble de ces éléments qu'il existe presque autant d'études que d'avis et de conclusions différentes. En effet, pour certains, il n'y a qu'une faible modification de la biomécanique des articulations du pied, alors que pour d'autres, il existe des changements sur les MTP, sur la pression plantaire et les contraintes sous l'avant pied.

De plus, avec l'essor des nouvelles technologies, un marketing toujours plus percutant, et des athlètes, même récréatifs, en recherche perpétuelle de performance, le choix d'une paire

de chaussures de course se porte de plus en plus fréquemment sur des modèles permettant d'aller plus loin et plus vite, mais souvent au détriment de la santé par manque de connaissance.

1.5. Problématique

La chaussure de course à pied est définie comme un facteur extrinsèque de risque de blessure lors de la course à pied (15). C'est un facteur qui reste modifiable, mais les technologies évoluant sans cesse, il est donc difficile pour les athlètes de s'y retrouver.

Actuellement, ce sont les chaussures à plaque en fibres carbone qui sont les plus mises en avant sur le marché. Malheureusement, il n'y a, pour le moment, que trop peu d'études concernant ces chaussures. D'une part, la technologie est trop récente, il n'y donc pas assez de recul et, d'autre part, les études se concentrent pour la plupart sur les performances et non sur l'aspect biomécanique.

Cela amène à la problématique suivante : **les chaussures de course à pied à plaque en fibres de carbone peuvent-elles augmenter le risque de blessure du membre inférieur chez les coureurs à pied récréatifs sur route ?**

1.6. Hypothèses

H0 : La prévalence des blessures du membre inférieur chez les coureurs à pieds récréatifs augmenterait avec l'utilisation de chaussures de course à pied à plaque en fibres de carbone.

H1 : Il n'y aurait pas plus de blessures avec l'utilisation de chaussures de course à pied à plaque en fibres de carbone qu'avec d'autres types de chaussures.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODE

2.1. Recherche documentaire

Premièrement, la rédaction de l'introduction s'est basée sur une analyse de la littérature afin de déterminer l'intérêt de l'activité physique et notamment de la course à pied mais également les pathologies les plus récurrentes lors de la course et les facteurs de risque associés.

Deuxièmement, la chaussure de course à pied a été spécifiquement étudiée comme étant un facteur de risque, notamment en raison de l'apparition de nouvelles technologies et plus précisément les chaussures de course à plaque en fibres de carbone.

Les recherches bibliographiques ont été réalisées à travers les bases de données suivantes : PubMed, ScienceDirect, Physiotherapy Evidence Database (PEDro), mais également à travers la littérature et plusieurs ouvrages : « La clinique du Coureur, la santé par la course à pied » de Blaise Dubois et Frédéric Berg, « Biomécanique du sport et de l'exercice : de la connaissance à l'argumentation » de Paul Grimshaw et al. et « Locomotion humaine : marche, courses : bases fondamentales, évaluation clinique et applications thérapeutiques de l'enfant à l'adulte » par Arnaud Delafontaine et al.

Tous les articles scientifiques écrits dans une autre langue ont été traduits en français.

Les principaux mots-clés des différentes recherches sont les suivants :

Tableau I : Mots clés

En anglais	En français
run, running, runners, shoes, running shoes, carbon plate, stiffness, stiffness shoes, maximalist, minimalist, pain, musculoskeletal, marathon, recreational, injury, injuries, physiotherapy, running economy, performance, resilience, stress, biomechanic, health, health benefits, cardiovascular, osteoarthritis	course, course à pied, coureurs, chaussures, chaussures de course à pied, plaque carbone, rigidité, chaussures rigides, maximalisme, minimalisme, douleur, musculo-squelettique, marathon, récréatif, blessure, blessures, kinésithérapie, économie de course, performance, résilience, stress, biomécanique, santé, bénéfices sur la santé, cardiovasculaire, arthrose.

Afin de déterminer les articles les plus intéressants, il fût nécessaire en première intention de lire les titres, résumés et conclusions. Les méta-analyses, revues systématiques et les études statistiques avec le plus haut niveau de preuve ont été retenues. Les sources sélectionnées pour l'analyse des chaussures à plaque en fibre de carbone ne sont présentes que depuis 2017, ce qui est récent et réduit donc la quantité de données.

2.2. Type d'étude

L'intérêt de ce mémoire de recherche est de réaliser un état des lieux de l'utilisation de ces chaussures à plaque en fibres de carbone afin de répondre à la problématique : « les chaussures de course à pied à plaque en fibres de carbone peuvent-elles augmenter le risque de blessure du membre inférieur chez les coureurs à pied récréatifs ? »

La méthode utilisée pour y répondre et valider l'une ou l'autre des hypothèses susvisées est une enquête transversale basée sur un questionnaire quantitatif destiné aux coureurs à pied récréatifs. En effet, le manque de données en la matière ne permet pas d'effectuer une revue de la littérature. De plus, l'utilisation d'un questionnaire permet d'atteindre une plus grande population et de fournir un échantillon représentatif. Il est facile d'accès car disponible via un lien informatique et peut donc être rempli en quelques minutes seulement.

2.3. Population

La population étudiée ici ne concerne que les coureurs à pied récréatifs, allant du novice au marathonien. Les critères d'inclusion sont les suivants :

- être pratiquant de course à pied sur route ;
- avoir plus de 18 ans ;
- courir au moins une fois par semaine ;

A l'inverse, il y a plusieurs critères d'exclusion dans la population étudiée :

- les personnes ne pratiquant pas la course à pied ;
- les coureurs de sprint ;
- les coureurs professionnels ;
- les personnes âgées de moins de 18 ans ;
- les coureurs de trail.

2.4. Questionnaire

L'objectif était de diffuser le questionnaire au plus tard en décembre 2023 afin d'obtenir un maximum de réponses et d'avoir le temps de les analyser une par une. Une première ébauche a été réalisée en octobre 2023 et, après quelques modifications apportées notamment suite à l'avis de différentes personnes, la version définitive a été officiellement mise en ligne mi-novembre 2023.

Un délai de six semaines a été fixé dès le début, et ce de manière totalement arbitraire, de façon à obtenir un nombre de réponses conséquent. Ce délai a donc couru de mi-novembre 2023 à début janvier 2024.

2.4.1. Constitution du questionnaire

Le questionnaire était précédé d'une brève introduction de présentation du sujet, permettant ainsi de ne faire participer au questionnaire, que les personnes concernées par l'étude, à savoir les coureurs à pied récréatifs ainsi qu'il a été précisé ci-avant.

Le questionnaire était composé de cinq parties allant de questions générales à des questions plus spécifiques concernant la pratique de chaque coureur. Il comportait vingt-neuf questions au total, toutefois, certaines n'étaient finalement pas pertinentes pour répondre à la problématique.

En première partie, il s'agissait de questions générales permettant de dresser un rapide portrait du répondant à savoir, s'il était pratiquant de course à pied, son âge et son sexe.

En deuxième partie, les questions concernaient les blessures passées ou actuelles des coureurs et le type de blessure qu'ils ont pu subir.

En troisième partie, les questions portées sur la pratique des coureurs, à savoir, la ou les raison(s) de leur pratique de la course à pied, le nombre et le type de séances réalisées par semaine, le nombre de kilomètres parcourus par semaine, ainsi que différentes questions sur les chaussures utilisées lors des différents entraînements.

En quatrième partie, il s'agissait de questions plus personnelles concernant les objectifs des coureurs, à savoir, l'inscription ou non à des courses, et, dans l'affirmative, le type de course et l'entraînement réalisé pour s'y préparer.

Et en cinquième partie, les questions étaient orientées plus spécifiquement sur l'utilisation des chaussures et notamment des chaussures à plaque en fibres de carbone. Le but était de s'intéresser aux types d'entraînements, aux ressentis ainsi qu'aux éventuelles blessures associées à l'utilisation de ces chaussures.

2.4.2. Diffusion du questionnaire

Pour toucher un grand panel de personnes et ainsi obtenir un maximum de réponses, le questionnaire a été diffusé sur les différents réseaux sociaux (Instagram, Facebook), a été envoyé à différents clubs et différentes fédérations de course à pied et triathlon, ainsi qu'à de nombreux sportifs professionnels et à la clinique du coureur qui ont pu eux même partager le questionnaire sur leurs réseaux.

Malheureusement avec ce type de questionnaire, le fait que les réponses soient anonymes pouvait biaiser l'étude notamment dû à l'impossibilité de vérifier la fiabilité desdites réponses. Toutefois, pour y palier et éviter aux participants d'être influencé, les questions ont été posées de manière à ne pas spécialement incriminer la chaussure à plaque en fibres de carbone, notamment en ce qui concerne les blessures antérieures.

Après l'obtention de toutes les réponses, plusieurs étapes ont suivi, à savoir, l'analyse statistique des résultats, la comparaison de ces résultats avec les données de la littérature scientifique et enfin la conclusion en réponse à la problématique objet de ce mémoire.

2.5. Traitement statistique

Ainsi il a été précisé ci-avant, toutes les réponses ont été recueillies sur une période de six semaines après laquelle le questionnaire a été clôturé.

Pour réaliser l'analyse statistique, le logiciel Microsoft Excel ainsi que l'extension XLS-Stat ont été utilisés afin de présenter, sous forme de graphiques, tableaux ou histogrammes, les données obtenues via l'outil Google Forms utilisé pour la réalisation du questionnaire. Toutes ces données ont été analysées en utilisant les calculs de moyennes, d'écarts-type ainsi que les tableaux de contingence nécessaires à la réalisation de tests de KHI2 et de Student, le tout dans le but de valider ou non le lien entre les différentes variables étudiées.

3. RÉSULTATS

Le questionnaire a recueilli 1766 réponses, toutefois, parmi les répondants, 40 ont été exclus dû à leur âge et/ou à leur pratique. L'étude a donc été réalisée sur 1726 coureurs au total.

3.1. Analyse générale de la population étudiée

3.1.1. Le sexe

Parmi tous les coureurs, la population d'hommes et de femmes est très homogène. On retrouve une fréquence de 853 hommes pour 873 femmes, ce qui permet d'établir un ratio de 49% d'hommes pour 51% de femmes.

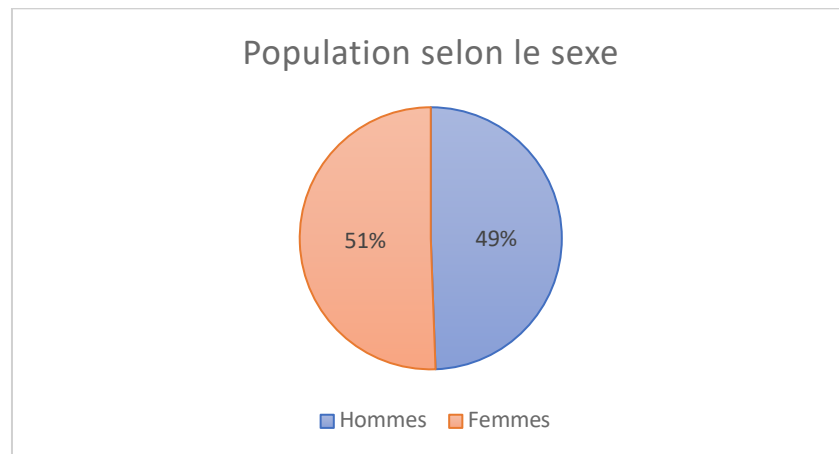


Figure 4 – Population de coureurs selon le sexe

3.1.2. L'âge

Les répondants ont été classés en différentes tranches d'âge. Comme précédemment, la répartition est assez homogène. Les proportions sont les suivantes :

- 18-25 ans : 337 répondants soit 19,5% ;
- 26-30 ans : 308 répondants soit 17,8% ;
- 31-35 ans : 253 répondants, soit 14,7% ;
- 36-40 ans : 194 répondants soit 11,2% ;
- 41-45 ans : 180 répondants, soit 10,4% ;
- 46-50 ans : 186 répondants, soit 10,8% ;
- + de 50 ans : 268 répondants, soit 15,6%.

On constate que ce sont les 18-35 ans qui représentent la part la plus importante des répondants, ce qui peut s'expliquer par les modalités de diffusion du questionnaire (via les réseaux sociaux).

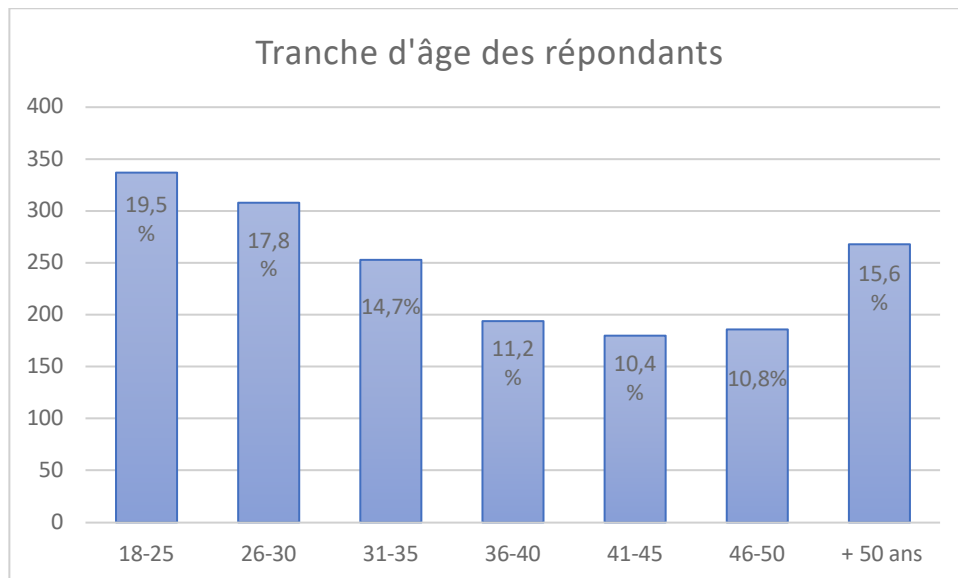


Figure 5 – Histogramme des tranches d'âge des coureurs

3.1.3. Le nombre de blessés

Le nombre de coureurs ayant été blessés lors de la pratique de la course à pied est de 1278, ce qui représente un total de 74% des répondants. Cette donnée coïncide avec les données de la littérature reprises dans l'introduction.

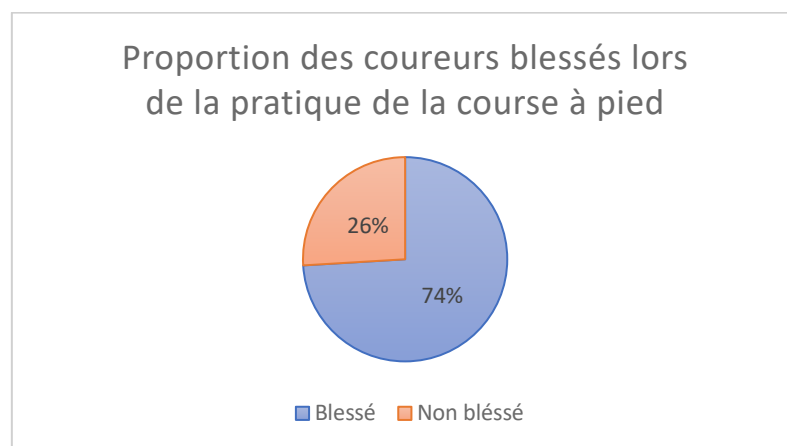


Figure 6 – Proportion des blessures chez les coureurs

3.1.4. Le type de chaussures utilisé

Parmi les 1726 coureurs, on retrouve 505 utilisateurs de chaussures à plaque en fibres de carbone soit 29,2% contre 1221 utilisateurs de chaussures dites « classiques » ne possédant pas cette technologie, soit 70,8%.

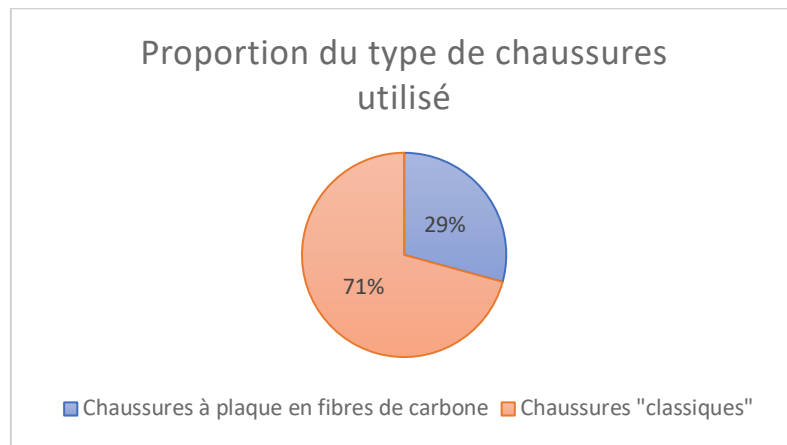


Figure 7 – Proportion du type de chaussures utilisé

3.1.5. L'utilisation des chaussures carbone

Les utilisateurs de ce type de chaussures ont été interrogés sur leur manière de les utiliser durant leurs entraînements. Ils avaient trois choix de réponse :

- utilisation à chaque entraînement,
- utilisation uniquement pour les compétitions,
- utilisation alternée avec d'autres paires de chaussures n'ayant pas cette technologie.

Le constat est sans appel, ces chaussures ne sont que très peu utilisées à tous les entraînements, 7% seulement des utilisateurs, contre 51% qui ne les utilisent qu'en compétition et 42% qui alternent avec d'autres paires.

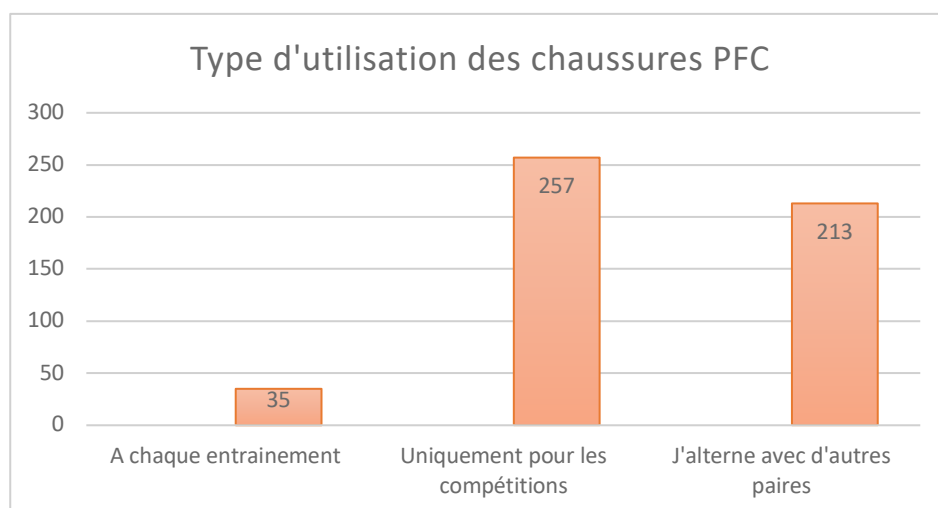


Figure 8 – Nombre de coureurs selon le type d'utilisation des chaussures à PFC

3.1.6. Le nombre de blessures selon le type de chaussures

Quatre questions ont été posées sur le type de chaussures utilisé, ce qui a permis de scinder le nombre de blessés avec les chaussures classiques et le nombre de blessés avec les chaussures à PFC.

S'agissant des chaussures classiques, sur un total de 1221 coureurs, on retrouve 841 coureurs qui ont été blessés, soit 69% des répondants, contre 380 qui ne l'ont pas été.

S'agissant des chaussures à PFC, la première question posée était la suivante : « Avez-vous déjà été blessé(e) (diminution ou arrêt de l'activité depuis l'utilisation de ces chaussures) ? ». Il en ressort que, sur un total de 505 coureurs, 161 coureurs ont été blessés contre 344 qui ne l'ont pas été.

Deux autres questions ont été posées à deux moments bien distincts du questionnaire, de manière à éviter que les répondants ne fassent le lien entre celles-ci, à savoir : la date d'achat de la paire de chaussures à PFC et que la date de la dernière blessure. Il en ressort que 101 personnes ont été blessées entre 1 semaine et maximum 6 mois après l'achat des chaussures à PFC.

Ces données donnent une première idée de la proportion de blessures selon le type de chaussures utilisé. Toutefois, cela ne permet pas, pour le moment, d'incriminer l'une ou l'autre chaussures eu égard au risque de blessures.

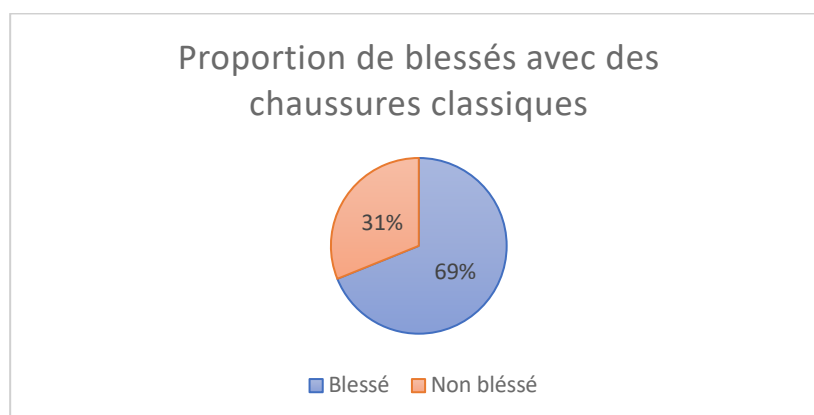


Figure 9 – Proportion de blessures chez les coureurs sans chaussures à PFC

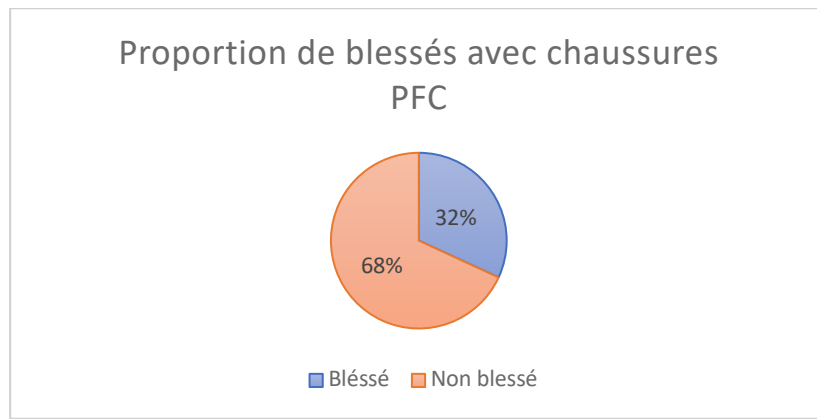


Figure 10 – Proportion de blessures chez les coureurs avec les chaussures à PFC

La recherche a également tenu compte du type d'utilisation des chaussures à PFC. En effet, parmi ceux qui les utilisent à tous les entraînements, 11 se sont blessés soit un ratio de 31%, pour ceux qui ne les utilisent qu'en compétition, 76 se sont blessés soit un ratio de 30%, et parmi ceux qui alternent les paires, 74 se sont blessés soit un ratio de 35%.

Toutefois, on constate finalement que le type d'utilisation importe peu puisque le ratio de blessures est quasi équivalent pour chaque utilisation.

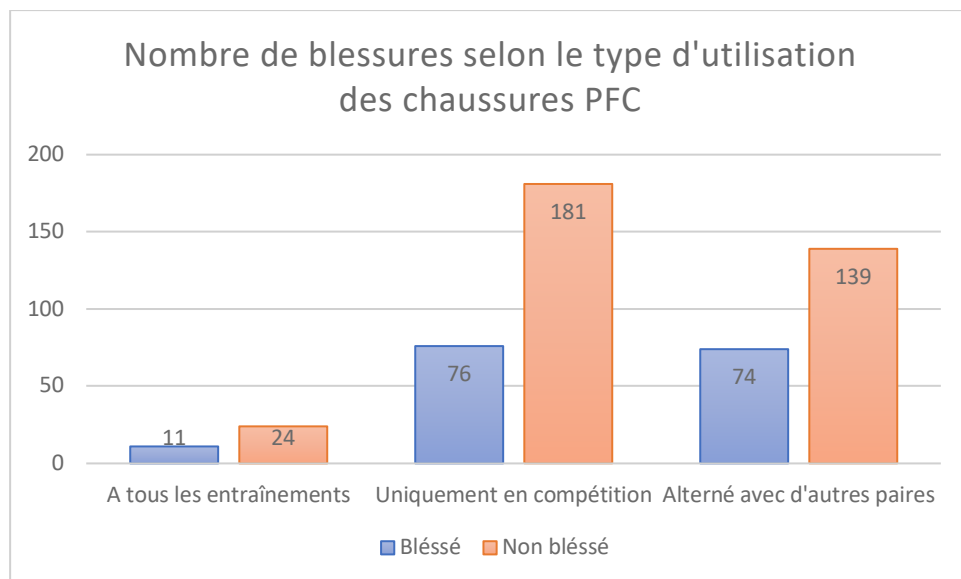


Figure 11 – Nombre de blessures selon le type d'utilisation des chaussures à PFC

3.1.7. Le type de pathologie selon le type de chaussures

Les répondants ont eu la possibilité de choisir 16 pathologies considérées, selon la littérature scientifique, comme les plus présentes chez les coureurs à pied.

On constate que, peu importe le type de chaussures utilisé, 3 pathologies apparaissent comme dominantes chez les coureurs, à savoir : la périostite, le syndrome de la bandelette ilio-tibiale plus communément appelé syndrome de « l'essui glace », et la tendinopathie d'Achille. De plus, on observe également que le ratio selon le type de chaussures est similaire pour toutes les pathologies.

Les statistiques concernant les blessures sont les suivantes :

Tableau II : Ratio des blessures selon le type de chaussures

Pathologies	Ratio des blessures pour les chaussures à PFC	Ratio des blessures pour les chaussures « classiques »
Aponévrosite plantaire ou épine calcanéenne (point localisé au talon)	6%	7%
Claquage des muscles de la cuisse (ischio-jambiers/quadriceps)	6%	4%
Douleurs dans la fesse	5%	7%
Douleurs de hanche	5%	7%
Douleurs lombaires	2%	1%
Entorse de cheville	7%	10%
Fracture de stress (ou de fatigue)	8%	5%
Métatarsalgie (douleur des os de l'avant pied)	2%	2%
Périostite (douleur sur l'os du tibia)	14%	12%
Pubalgie (douleur au niveau des adducteurs, du pubis)	3%	3%
Syndrome de la bandelette ou essuie-glace (douleur face externe du genou)	15%	17%
Syndrome de la patte d'oie (douleur face interne du genou)	2%	3%
Syndrome fémoro-patellaire (douleur centrale au genou)	5%	5%
Talalgie (douleur globale au talon)	0%	1%
Tendinopathie du tendon d'Achille	17%	12%
Tendinopathie du tendon rotulien (tendon sous le genou)	3%	4%

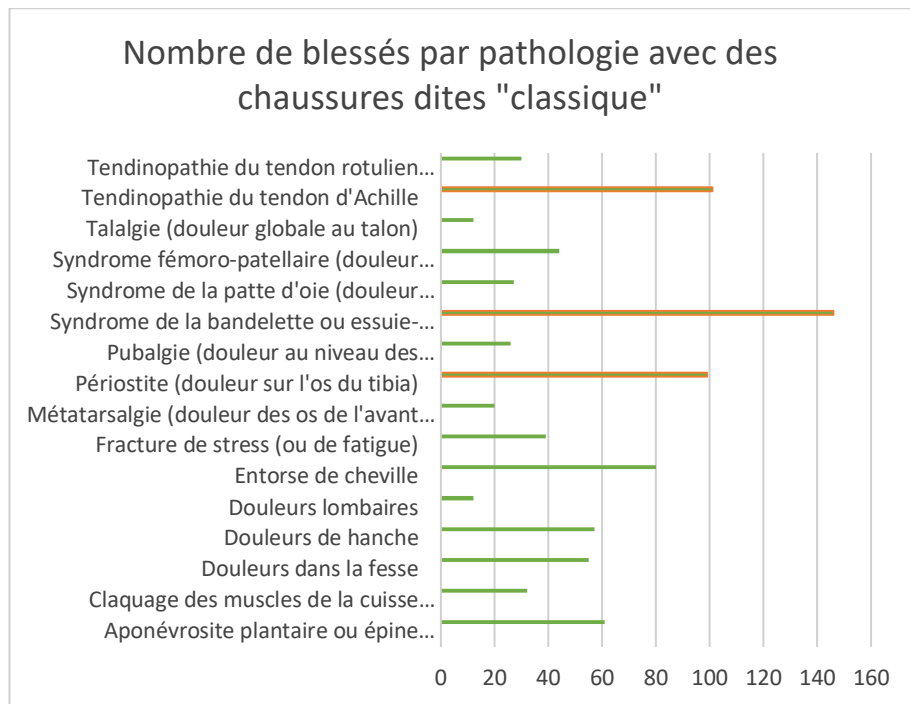


Figure 12 – Proportion des pathologies chez les coureurs utilisant les chaussures classiques

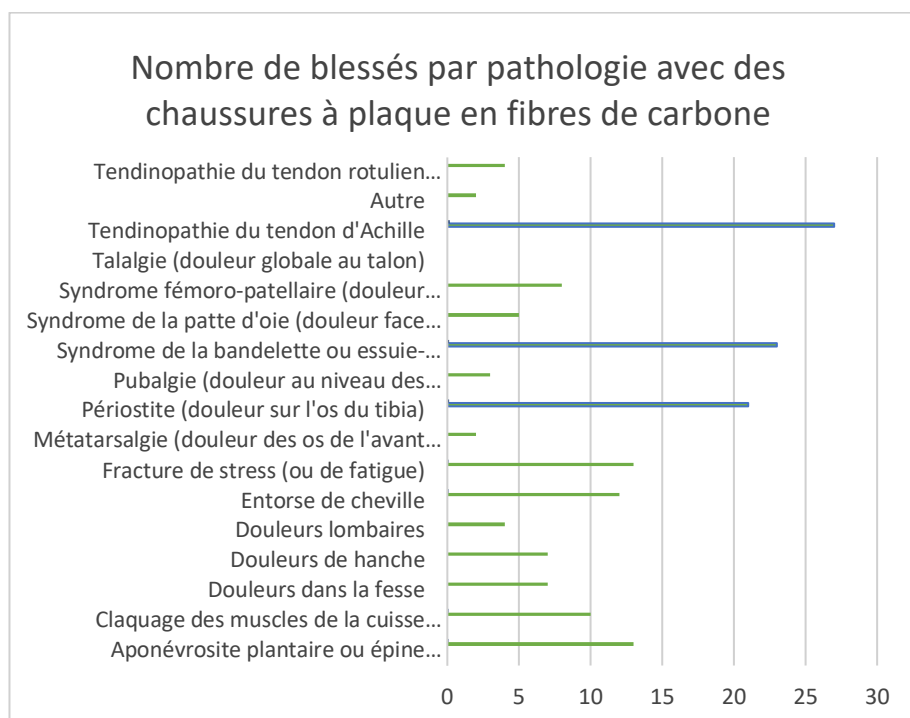


Figure 13 – Proportion des pathologies chez les coureurs utilisant les chaussures à PFC

3.1.8. L'utilisation des chaussures

Premièrement, il a été demandé à tous les participants de l'étude d'expliquer quels étaient leurs critères lors de l'achat d'une paire de chaussures.

Deuxièmement, les utilisateurs de chaussures à PFC ont été spécifiquement interrogés sur le ou les objectif(s) recherchés lors de l'achat de ce type de paire. Il y avait plusieurs propositions avec la possibilité de sélectionner plusieurs réponses.

Parmi les 505 utilisateurs de chaussures à PFC, 477 les utilisent pour la promesse d'amélioration de performance mise en avant par les marques, ce qui représente 94% des répondants. A contrario, chez les utilisateurs de chaussures dites classiques, seulement 422 d'entre eux s'intéressent à l'aspect performance, soit uniquement 34% des répondants, le confort étant leur priorité.

3.1.9. Le nombre de sorties par semaine

Dans la continuité des autres variables étudiées, le nombre de sorties par semaine est comparé selon le type de chaussures utilisé.

En ce qui concerne les utilisateurs de chaussures classiques, la majorité d'entre eux effectuent 2 à 3 sorties par semaine (31% pour 2 sorties et 45% pour 3 sorties).

Pour les utilisateurs de chaussures à PFC, les proportions sont quasiment identiques. Ils sont 33% à courir 3 fois par semaine, 27% à courir 4 fois et enfin 31% réalisent plus de 4 sorties sur la semaine.

Pour les utilisateurs de chaussures classiques, les réponses correspondant aux extrêmes, c'est-à-dire à 1 sortie et plus de 4 sorties par semaine, ne représentent qu'un faible pourcentage des répondants. S'agissant des utilisateurs de chaussures à PFC, seule la réponse « 1 sortie » ne représente qu'un faible pourcentage, ce qui montre que les utilisateurs de ces chaussures sont des coureurs réguliers.

Tableau III : Nombre de sorties selon le type de chaussures

Nombre de sorties/semaine	Chaussures à PFC	Chaussures classiques	Total
1 sortie	7	77	84
2 sorties	36	375	411
3 sorties	169	546	715
4 sorties	135	171	306
+ de 4 sorties	158	52	210
Total	505	1221	1726

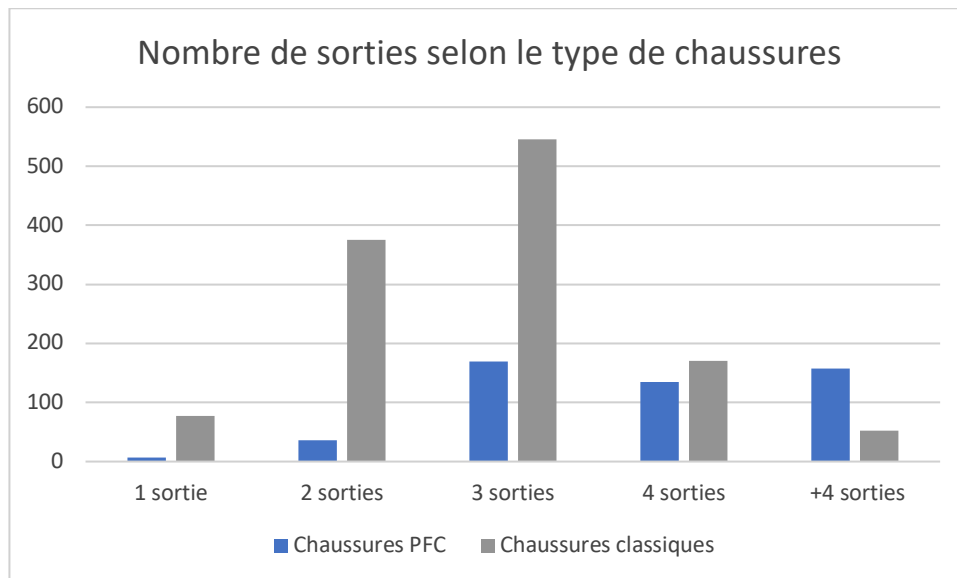


Figure 14 – Histogramme du nombre de sorties selon le type de chaussures

3.1.10. Le nombre de kilomètres hebdomadaires

Le nombre de kilomètres parcourus par semaine selon le type de chaussures a été analysé par intervalle. En effet, il n'a pas été demandé de kilométrage exact puisqu'il peut varier d'une semaine à l'autre.

En ce qui concerne les utilisateurs de chaussures classiques, la majorité parcourent entre 10 et 30 kilomètres par semaine : 28% courent entre 10 et 20 kilomètres par semaine et 31% en courent entre 20 et 30 kilomètres.

La moyenne hebdomadaire de ces coureurs est de 27,91 kilomètres.

S'agissant des utilisateurs de chaussures à PFC, la majorité courent plus de 40 kilomètres par semaine : cela représente 52% d'entre eux. Pour le reste des répondants, 17% parcourent entre 20 et 30 kilomètres par semaine et 25% entre 30 et 40 kilomètres.

La moyenne hebdomadaire de ces coureurs est de 37 kilomètres.

Tableau IV : kilométrage moyen hebdomadaire selon le type de chaussures

Nombre de km/semaine	Chaussures à PFC	Chaussures classiques	Total
1-5km	0	15	15
5-10km	6	118	124
10-20km	28	344	372
20-30km	84	378	462
30-40km	129	235	364
40-50km (+40km)	258	131	389
Total	505	1221	1726

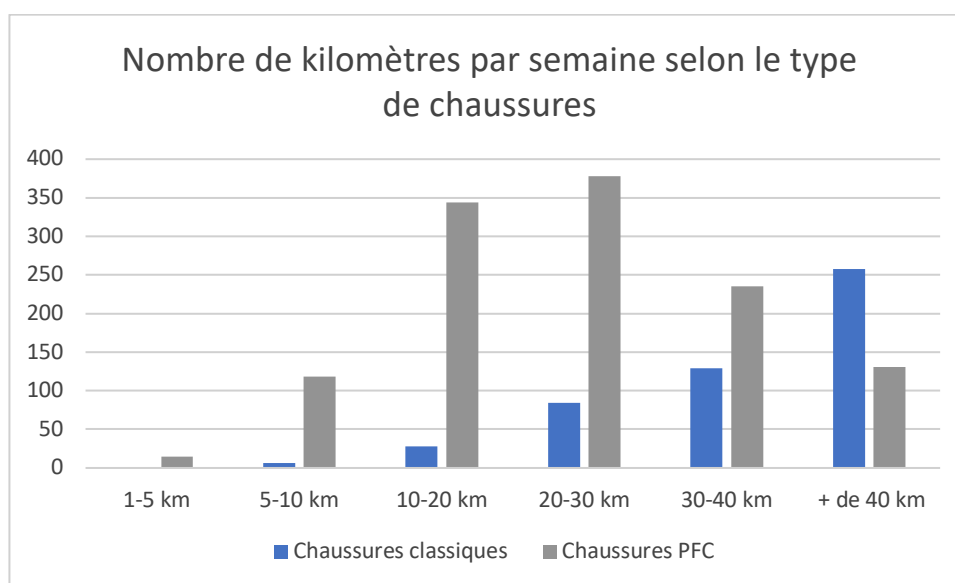


Figure 15 – Nombre de kilomètres hebdomadaire selon le type de chaussures

4. ANALYSE ET INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

Afin de répondre à la problématique posée, et compte-tenu du nombre de variables étudiées, il fût nécessaire de poser différentes hypothèses afin de déterminer si ces variables étaient ou non liées.

Pour se faire, elles ont été analysées afin de les décrire comme quantitatives ou qualitatives et permettre de leur appliquer le test statistique approprié (Khi-deux ou Student), en considérant que toutes les données suivaient une loi normale.

Les variables étudiées sont les suivantes :

- sexe ;
- âge ;
- blessure ;
- type de chaussures utilisé ;
- nombre de sorties hebdomadaires ;
- nombre de kilomètres parcourus par semaine.

Chaque lien potentiel a été réalisé en suivant la même démarche statistique.

4.1. Lien entre le nombre de blessés et le type de chaussures utilisé

Hypothèses :

H0 : il n'y a pas de lien entre le nombre de blessés et le type de chaussures utilisé

H1 : il y a un lien entre le nombre de blessés et le type de chaussures utilisé

Le calcul des effectifs observés et des effectifs théoriques a été réalisé à travers les deux tableaux de contingence ci-dessous.

Tableau V : tableau de contingence blessure/type de chaussures

Type de chaussures	Blessé	Non blessé	Total
Avec plaque carbone	161	344	505
Sans plaque carbone	841	380	1221
Total	1278	448	1726

Tableau VI : tableau de contingence théorique blessure/type de chaussures

Type de chaussures	Blessé	Non blessé	Total
Avec plaque carbone	374	131	505
Sans plaque carbone	904	317	1221
Total	1278	448	1726

Une fois l'obtention du tableau de contingence théorique, il a été possible de calculer la statistique de test (Khi-deux d'indépendance) suivant la loi normale. La statistique de test vaut 484,07.

En utilisant le tableau de Pearson, il a été déterminé la valeur du quantile pour un risque alpha de 5%. Ce quantile vaut 3,84.

Cela permet donc de conclure que, 484,07 étant supérieur à 3,84, il y a un bien un lien entre le nombre de blessés et le type de chaussures utilisé. Il convient donc d'exclure l'hypothèse H0.

La différence importante entre la statistique de test et le quantile confirme que le lien entre ces deux variables est fort.

4.2. Lien entre le type de chaussures et le sexe

Hypothèses :

H0 : il n'y a pas de lien entre le sexe et le type de chaussures utilisé

H1 : il y a un lien entre le sexe et le type de chaussures utilisé

Le calcul des effectifs observés et des effectifs théoriques a été réalisé à travers les deux tableaux de contingence ci-dessous.

Tableau VII : tableau de contingence sexe/type de chaussures

Sexe	Avec plaque carbone	Sans plaque carbone	Total
Femme	142	731	873
Homme	363	490	853
Total	505	1221	1726

Tableau VIII : tableau de contingence théorique sexe/type de chaussures

Sexe	Avec plaque carbone	Sans plaque carbone	Total
Femme	255	618	873
Homme	250	603	853
Total	505	1221	1726

Une fois l'obtention du tableau de contingence théorique, il a été possible de calculer la statistique de test (Khi-deux d'indépendance) suivant la loi normale. La statistique de test vaut 144,07.

En utilisant le tableau de Pearson, on a déterminé la valeur du quantile pour un risque alpha de 5%. Ce quantile vaut 3,84.

Cela permet donc de conclure que, 144,07 étant supérieur à 3,84, il y a un bien un lien entre le sexe et le type de chaussures utilisé. Il convient donc d'exclure l'hypothèse H0.

La différence importante entre la statistique de test et le quantile confirme que le lien entre ces deux variables est fort.

4.3. Lien entre le nombre de blessés et le sexe

Hypothèses :

H0 : il n'y a pas de lien entre le nombre de blessés et le sexe

H1 : il y a un lien entre le nombre de blessés et le sexe

Le calcul des effectifs observés et des effectifs théoriques a été réalisé à travers les deux tableaux de contingence ci-dessous.

Tableau IX : tableau de contingence blessure/sexe

Sexe	Blessé	Non blessé	Total
Femme	285	588	873
Homme	466	387	853
Total	751	975	1726

Tableau IX : tableau de contingence théorique blessure/sexe

Sexe	Blessé	Non blessé	Total
Femme	380	493	873
Homme	371	482	853
Total	751	975	1726

Une fois l'obtention du tableau de contingence théorique, il a été possible de calculer la statistique de test (Khi-deux d'indépendance) suivant la loi normale. La statistique de test vaut 84,83.

En utilisant le tableau de Pearson, on a déterminé la valeur du quantile pour un risque alpha de 5%. Ce quantile vaut 3,84.

Cela permet donc de conclure que, 84,83 étant supérieur à 3,84, il y a un bien un lien entre le sexe et le nombre de blessés. Il convient donc d'exclure l'hypothèse H0.

La différence importante entre la statistique de test et le quantile confirme que le lien entre ces deux variables est fort.

4.4. Lien entre le type de chaussures et le nombre de sorties hebdomadaires

Hypothèses :

H0 : il n'y a pas de lien entre le nombre de sorties hebdomadaire et le type de chaussures utilisé

H1 : il y a un lien entre le nombre de sorties hebdomadaire et le type de chaussures utilisé

Le calcul des effectifs observés et des effectifs théoriques a été réalisé à travers les deux tableaux de contingence ci-dessous.

Tableau X : tableau de contingence type de chaussures/nombre de sorties hebdomadaire moyen

Nombre de sorties/semaine	Avec plaque carbone	Sans plaque carbone	Total
1 sortie	7	77	84
2 sorties	36	375	411
3 sorties	169	546	715
4 sorties	135	171	306
+4 sorties	158	52	210
Total	505	1221	1726

Tableau XI : tableau de contingence théorique type de chaussures/nombre de sorties hebdomadaire moyen

Nombre de sorties/semaine	Avec plaque carbone	Sans plaque carbone	Total
1 sortie	25	59	84
2 sorties	120	291	411
3 sorties	209	506	715
4 sorties	90	216	306
+4 sorties	61	149	210
Total	505	1221	1726

Une fois l'obtention du tableau de contingence théorique, il a été possible de calculer la statistique de test (Khi-deux d'indépendance) suivant la loi normale. La statistique de test vaut 359,27.

En utilisant le tableau de Pearson, on a déterminé la valeur du quantile pour un risque alpha de 5%. Ce quantile vaut 9,48.

Cela permet donc de conclure que, 359,27 étant supérieur à 9,48, il y a un bien un lien entre le nombre de sorties hebdomadaires et le type de chaussures utilisé. Il convient donc d'exclure l'hypothèse H0.

La différence importante entre la statistique de test et le quantile confirme que le lien entre ces deux variables est fort.

4.5. Lien entre le nombre de nombre de blessés et le nombre de sorties hebdomadaires

Hypothèses :

H0 : il n'y a pas de lien entre le nombre de blessés et le nombre de sorties hebdomadaire

H1 : il y a un lien entre le nombre de blessés et le nombre de sorties hebdomadaire

Premièrement, le calcul des effectifs observés et des effectifs théoriques a été réalisé à travers les deux tableaux de contingence ci-dessous pour les utilisateurs de chaussures à PFC.

Tableau XII : tableau de contingence blessure/nombre de sorties hebdomadaire moyen pour les utilisateurs de chaussures à PFC

Nombre de sorties/semaine	Blessé	Non blessé	Total
1 sortie	3	4	7
2 sorties	12	24	36
3 sorties	54	115	169
4 sorties	44	91	135
+ 4 sorties	48	110	158
Total	161	344	505

Tableau XIII : tableau de contingence théorique blessure/nombre de sorties hebdomadaires moyen pour les utilisateurs de chaussures à PFC

Nombre de sorties/semaine	Blessé	Non blessé	Total
1 sortie	2,23	4,77	7,00
2 sorties	11,48	24,52	36,00
3 sorties	53,88	115,12	169,00
4 sorties	43,04	91,96	135,00
+ 4 sorties	50,37	107,63	158,00
Total	161,00	344,00	505,00

Une fois l'obtention du tableau de contingence théorique, il a été possible de calculer la statistique de test (Khi-deux d'indépendance) suivant la loi normale. La statistique de test vaut 0,62.

En utilisant le tableau de Pearson, on a déterminé la valeur du quantile pour un risque alpha de 5%. Ce quantile vaut 9,48.

Cela permet donc de conclure que, 0,62 étant inférieur à 9,48, il n'y a pas de lien entre le nombre de sorties hebdomadaires et le nombre de blessés pour les utilisateurs de chaussures à PFC. Il convient donc de valider l'hypothèse H0.

Deuxièmement, le calcul des effectifs observés et des effectifs théoriques a été réalisé à travers les deux tableaux de contingence ci-dessous pour les utilisateurs de chaussures classiques tout en conservant les mêmes hypothèses.

Tableau XIV : tableau de contingence blessure/nombre de sorties hebdomadaires moyen pour les utilisateurs de chaussures classiques

Nombre de sorties/semaine	Blessé	Non blessé	Total
1 sortie	36	41	77
2 sorties	244	131	375
3 sorties	381	165	546
4 sorties	141	30	171
+ 4 sorties	39	13	52
Total	841	380	1221

Tableau XV : tableau de contingence théorique blessure/nombre de sorties hebdomadaires moyen pour les utilisateurs de chaussures classiques

Nombre de sorties/semaine	Blessé	Non blessé	Total
1 sortie	53,0	24,0	77,0
2 sorties	258,3	116,7	375,0
3 sorties	376,1	169,9	546,0
4 sorties	117,8	53,2	171,0
+ 4 sorties	35,8	16,2	52,0
Total	841,0	380,0	1221,0

Une fois l'obtention du tableau de contingence théorique, il a été possible de calculer la statistique de test (Khi-deux d'indépendance) suivant la loi normale. La statistique de test vaut 35,94.

En utilisant le tableau de Pearson, on a déterminé la valeur du quantile pour un risque alpha de 5%. Ce quantile vaut 9,48.

Cela permet donc de conclure que, 35,94 étant supérieur à 9,48, il y a un bien un lien entre le nombre de sorties hebdomadaires et le nombre de blessés pour les utilisateurs de chaussures classiques. Il convient donc d'exclure l'hypothèse H0.

4.6. Lien entre le type de chaussures et l'âge des coureurs

Hypothèses :

H0 : il n'y a pas de lien entre le type de chaussures utilisé et l'âge des coureurs

H1 : il y a un lien entre le type de chaussures utilisé et l'âge des coureurs

Le calcul des effectifs observés et des effectifs théoriques a été réalisé à travers les deux tableaux de contingence ci-dessous.

Tableau XVI : tableau de contingence type de chaussures/tranche d'âge

Tranche d'âge	Avec plaque carbone	Sans plaque carbone	Total
18-25	143	194	337
26-30	103	205	308
31-35	83	170	253
36-40	51	143	194
41-45	38	142	180
46-50	43	143	186
+ 50 ans	44	224	268
Total	505	1221	1726

Tableau XVII : tableau de contingence théorique type de chaussures/tranche d'âge

Tranche d'âge	Avec plaque carbone	Sans plaque carbone	Total
18-25	99	238	337
26-30	90	218	308
31-35	74	179	253
36-40	57	137	194
41-45	53	127	180
46-50	54	132	186
+ 50 ans	78	190	268
Total	505	1221	1726

Une fois l'obtention du tableau de contingence théorique, il a été possible de calculer la statistique de test (Khi-deux d'indépendance) suivant la loi normale. La statistique de test vaut 63,74.

En utilisant le tableau de Pearson, on a déterminé la valeur du quantile pour un risque alpha de 5%. Ce quantile vaut 12,59.

Cela permet donc de conclure que, 63,74 étant supérieur à 12,59, il y a un bien un lien entre l'âge des coureurs et le type de chaussures utilisé. Il convient donc d'exclure l'hypothèse H_0 .

4.7. Lien entre le nombre de blessés et l'âge des coureurs

Hypothèses :

H_0 : il n'y a pas de lien entre le nombre de blessés et l'âge des coureurs

H_1 : il y a un lien entre les deux variables

Le calcul des effectifs observés et des effectifs théoriques a été réalisé à travers les deux tableaux de contingence ci-dessous.

Tableau XVIII : tableau de contingence blessure/tranche d'âge

Tranche d'âge	Blessé	Non blessé	Total
18-25	170	167	337
26-30	180	128	308
31-35	144	109	253
36-40	112	82	194
41-45	113	67	180
46-50	108	78	186
+ 50 ans	175	93	268
Total	1002	724	1726

Tableau XIX : tableau de contingence théorique blessure/tranche d'âge

Tranche d'âge	Carbone	Sans carbone	Total
18-25	196	141	337
26-30	179	129	308
31-35	147	106	253
36-40	113	81	194
41-45	104	76	180
46-50	108	78	186
+ 50 ans	156	112	268
Total	1002	724	1726

Une fois l'obtention du tableau de contingence théorique, il a été possible de calculer la statistique de test (Khi-deux d'indépendance) suivant la loi normale. La statistique de test vaut 15,59.

En utilisant le tableau de Pearson, on a déterminé la valeur du quantile pour un risque alpha de 5%. Ce quantile vaut 12,59.

Cela permet donc de conclure que, 15,59 étant supérieur à 12,59, il y a un bien un lien entre l'âge des coureurs et le nombre de blessés. Il convient donc d'exclure l'hypothèse H0.

La différence entre la statistique de test et le quantile étant néanmoins assez faible, on peut considérer que le lien n'est que très peu significatif entre ces deux variables.

4.8. Lien entre le type de chaussures et le nombre de kilomètres hebdomadaire

Hypothèses :

H0 : les moyennes de population sont les mêmes

H1 : les moyennes de population sont différentes

Un tableau de contingence a été réalisé après recueil de toutes les données.

Tableau XX : tableau de contingence nombre de km moyen par semaine/type de chaussures

Nombre de km/semaine	Avec plaque carbone	Sans plaque carbone	Total
1-5 km	0	15	15
5-10 km	6	118	124
10-20 km	28	344	372
20-30 km	84	378	462
30-40 km	129	235	364
40-50 km (+40)	258	131	389
total	505	1221	1726

Les moyennes de chaque intervalle ont été calculées pour permettre le calcul des moyennes de course hebdomadaire selon le type de chaussures utilisé.

Tableau XXI : Intervalles du kilométrage moyen selon le type de chaussures

Intervalles	Carbone	Sans carbone
2,5	0	37,5
7,5	45	5310
15	420	5160
25	2100	9450
35	4515	8225
45	11610	5895
Moyenne	37,0	27,91

A l'inverse des autres variables qualitatives étudiées plus haut grâce au test Khi-deux d'indépendance, il est possible ici de se servir des moyennes afin de calculer la statistique de test grâce au test de Student.

Ces moyennes ont donc permis de calculer les écarts types en fonction du type de chaussures utilisé. Les résultats sont les suivants : 218,9 pour les chaussures à PFC ; 443,3 pour les chaussures classiques.

Ici, la différence entre les écarts-types étant élevée, la statistique de test a été calculée grâce à l'erreur standard. On obtient ici une valeur de 0,56.

En prenant la table de Student pour un risque alpha de 5%, on obtient un quantile de 1,96.

Cela permet donc de conclure que 0,56 étant inférieur à 1,96, on peut valider l'hypothèse H0. Ces données confirment donc que le kilométrage moyen est sensiblement le même, quel que soit le type de chaussures utilisé.

4.9. Lien entre le nombre de blessés et le nombre de kilomètres hebdomadaires

Hypothèses :

H0 : les moyennes de population sont les mêmes

H1 : les moyennes de population sont différentes

Un tableau de contingence a été réalisé après recueil de toutes les données.

Tableau XXII : tableau contingence nombre de km moyen par semaine/blessure

Nombre de km/semaine	Blessé	Non blessé	Total
1-5 km	6	9	15
5-10 km	67	57	124
10-20 km	231	141	372
20-30 km	288	174	462
30-40 km	224	140	364
40-50 km (+ 40)	186	203	389
total	1002	724	1726

Les moyennes de chaque intervalle ont été calculées pour permettre le calcul des moyennes de course hebdomadaire selon le nombre de blessés.

Tableau XXIII : Intervalles du kilométrage moyen et blessure

Intervalles	Blessé	Non blessé
2,5	15	22,5
7,5	502,5	427,5
15	3465	2115
25	7200	4350
35	7840	4900
45	8370	9135
Moyenne	27,3	28,9

Il est possible ici de se servir des moyennes afin de calculer la statistique de test grâce au test de Student.

Ces moyennes ont permis de calculer les écarts types en fonction de la présence ou non d'une blessure. Les résultats sont les suivants : 371,46 pour les coureurs blessés ; 342,64 pour les coureurs n'étant pas blessés.

Ici, la différence entre les écarts-types étant faible, la statistique de test a été calculée grâce à la racine de la variance. On obtient ici une valeur de 0,09.

En prenant la table de Student pour un risque alpha de 5%, on obtient un quantile de 1,96.

Cela permet donc de conclure que 0,09 étant inférieur à 1,96, on peut valider l'hypothèse H_0 . Ces données confirment donc que le kilométrage moyen est sensiblement le même, que les coureurs soient blessés ou non.

5. DISCUSSION

Les analyses statistiques ont permis de déterminer les variables ayant un lien entre elles et celles n'en ayant pas. Pour rappel, la population étudiée aussi grâce au questionnaire est de 1726 personnes majeures, pratiquant la course à pied sur route au moins une fois par semaine.

Eu égard à l'ensemble de cette étude, il apparaît que les facteurs de risque de blessures chez les coureurs sont les suivants : le type de chaussures, le sexe, le nombre de sorties

hebdomadaires (uniquement pour les coureurs n'utilisant pas de chaussures à PFC) et le nombre de kilomètres par semaine.

On peut observer que les valeurs retrouvées ne sont pas totalement en adéquation avec les données de la littérature, notamment en ce qui concerne le sexe.

Le type de chaussures est le premier facteur de risque de blessures et celui ayant le lien le plus fort avec le risque de blessures. En reprenant les valeurs obtenues via le questionnaire, on constate que seulement 32% des utilisateurs de chaussures à PFC se sont blessés contre 69% chez les coureurs utilisant des chaussures classiques.

D'après les chiffres qui ressortent de l'étude, il est possible d'affirmer que les utilisateurs de chaussures à PFC sont, pour la plupart, à la recherche de performance (même chez des coureurs récréatifs). De plus, ces coureurs connaissent mieux leur corps que les autres coureurs et sont donc, de ce fait, moins sujets aux blessures. Néanmoins, ces résultats ne correspondent pas aux études et chiffres énoncés dans l'introduction, qui concluent plutôt que les coureurs recherchant à atteindre des objectifs toujours plus élevés sont sujets à un risque plus élevé de blessure (31). Cependant, dans cette étude rétrospective, les résultats ne concernaient pas les coureurs utilisant les chaussures à PFC et ne prenaient en compte qu'une population ayant un objectif de distance à atteindre et mettant tout en place pour y arriver.

Il ressort également de cette étude que les blessures associées à la course à pied ne dépendent pas du type de chaussures utilisé. Les blessures retrouvées sont sensiblement les mêmes que celles mentionnées dans les différentes méta-analyses et revues systématiques, à savoir, la périostite, la tendinopathie d'Achille et le syndrome de la bandelette ilio-tibiale (23).

L'analyse statistique a permis de déterminer le sexe comme second facteur de risque de blessures, contrairement à ce qui peut ressortir de la littérature, ainsi qu'il a été évoqué ci-dessus. En effet, on remarque que les hommes se blessent plus que les femmes parmi les répondants (54% pour les hommes contre 32% pour les femmes) alors qu'il avait été indiqué ci-avant, dans la méta-analyse, que « le sexe ne semble pas présenter un facteur de risque spécifique si on considère la fréquence globale des blessures en course à pied » (27).

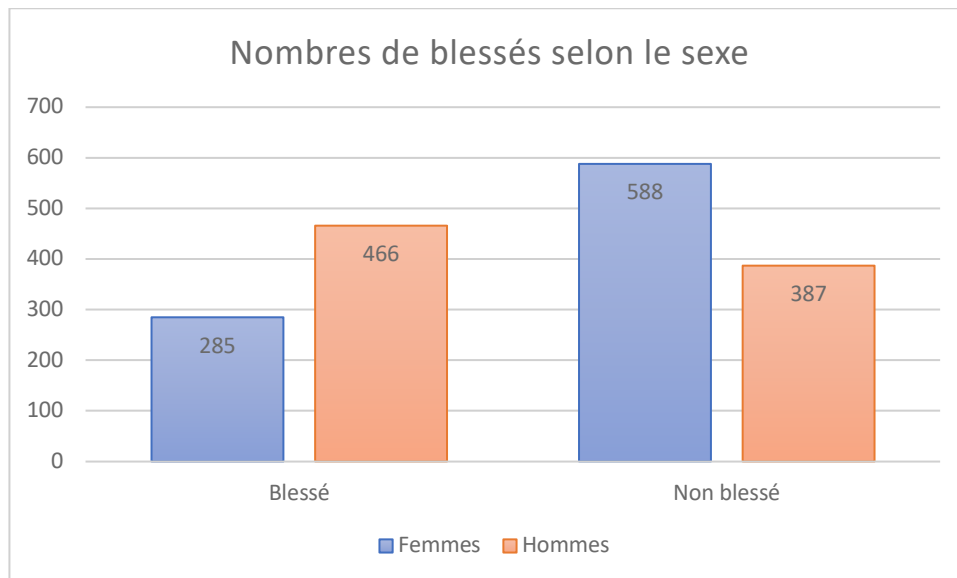


Figure 16 – Histogramme du nombre de coureurs blessés selon le sexe

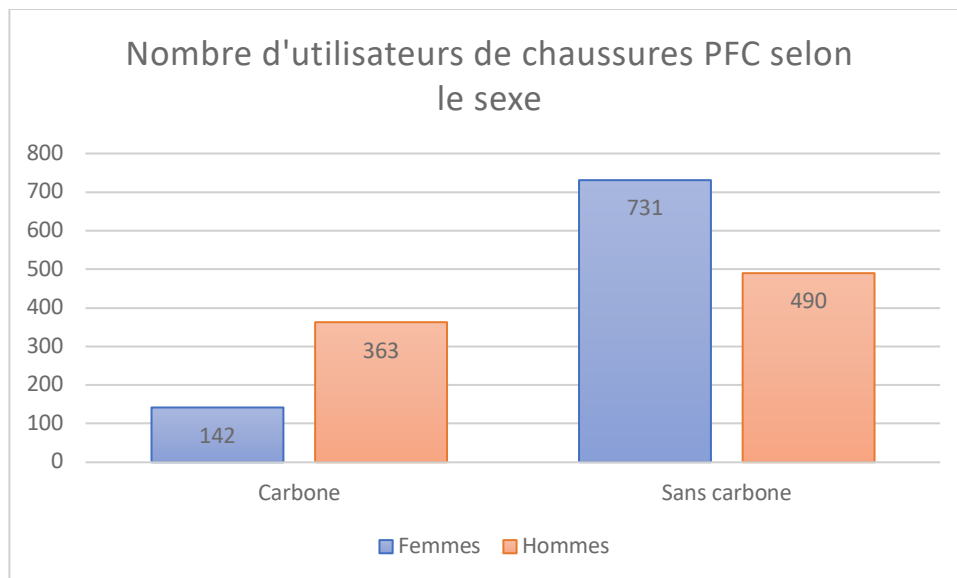


Figure 17 – Histogramme du type de chaussures utilisé selon le sexe

On a également déterminé, via les tests statistiques, que le nombre de sorties par semaine n'est pas un facteur de risque chez les utilisateurs de chaussures à PFC contrairement aux autres coureurs. En effet, il ressort des réponses obtenues que les coureurs n'utilisent pas les chaussures à PFC à tous les entraînements mais principalement pour leurs courses et certains entraînements spécifiques. Il n'y aurait donc pas de lien entre le nombre de sorties et ce type de chaussures, étant donné qu'elles ne sont que peu utilisées ou en tout cas que dans des cas bien particuliers.

Le nombre de kilomètres par semaine est le dernier facteur de risque de blessures qui ressort de cette étude. Toutefois, il n'a pas été démontré qu'il y avait une différence significative entre les coureurs ayant utilisé les chaussures à PFC et les autres. De plus, la moyenne hebdomadaire est quasiment la même entre les coureurs blessés (27,3 kilomètres) et les non blessés (28,9 kilomètres), alors que la moyenne des coureurs utilisant les chaussures à PFC est de 37 kilomètres. On peut donc en conclure que les chaussures à PFC entraîneraient moins de blessures pour un même nombre de kilomètres parcourus par semaine.

5.1. Biais et limites de l'étude

5.1.1. Biais lié à l'utilisation d'un questionnaire

En premier lieu, les limites de l'étude concernent le questionnaire. En effet, toutes les réponses sont anonymes et ne correspondent qu'à des « auto-déclarations », il n'y a donc pas de possibilité de s'assurer de la véracité des réponses. Par exemple concernant les chaussures à PFC, il a été demandé aux participants d'indiquer, à la question 6, la date de la dernière blessure en mois et année, et à la question 22, la date d'achat de cette paire de chaussures à PFC en mois et année. Ces réponses ont permis de lier potentiellement les deux dates. Toutefois, il se peut que les dates ne soient pas exactes ce qui entraînerait donc un biais lors de l'analyse des réponses.

En second lieu, tous les facteurs de risque de blessures n'ont pas été pris en compte, que ce soit les facteurs intrinsèques ou les facteurs extrinsèques. En effet, de nombreux facteurs de risque étudiés dans la littérature n'ont pas été abordés, comme par exemple, les autres sports pratiqués en complément de la course à pied, le type d'échauffement, le type de récupération, mais également tous les facteurs liés à la consommation d'alcool, de tabac, la nutrition et l'hydratation des participants. Ce sont des facteurs non négligeables qui peuvent tous intervenir en tant que cause primaire ou secondaire de la pathologie.

En dernier lieu, certaines questions pouvaient porter à confusion et/ou ne pas être assez précises. Il pouvait donc y avoir des difficultés de compréhension et/ou d'interprétation. Par exemple, à la question « avez-vous déjà été blessé(e) lors de votre pratique de la course à pied ? », il n'y a aucune notion de temps correspondant à la blessure. La question étant assez vague et la définition de la blessure n'étant pas précisée, tous les répondants peuvent avoir leur propre interprétation de celle-ci. C'est une autre limite de l'utilisation d'un questionnaire

puisque'il ne peut pas être extrêmement précis et personnalisé du fait qu'il doit rester assez « court » de manière à ce qu'il y ait un maximum de volontaires pour y répondre.

S'agissant de la question « parmi ces pathologies, laquelle correspond à votre dernière blessure ? », les pathologies récurrentes du coureur à pied ont été précisées, mais il se peut que certaines aient été oubliées.

5.1.2. Biais lié de la population

Premièrement, il existe un biais lié à la diffusion du questionnaire. En effet, celui-ci ayant été envoyé aux différentes fédérations et clubs d'athlétisme et de triathlon, il va de soi que les coureurs, même s'ils ne sont pas professionnels, ont une moyenne de kilomètres et de sorties par semaine plus élevée que la population générale. De plus, le partage du questionnaire par certains athlètes professionnels sur leurs réseaux sociaux a également pu influencer le type de répondants.

Deuxièmement, le nombre de répondants utilisant des chaussures à PFC ne correspond pas à la majorité des personnes interrogées. En effet, sur les 1726 répondants, seulement 505 les utilisent. C'est un nombre qui reste conséquent mais peut-être pas assez pour en tirer des conclusions fermes.

5.1.3. Biais lié à l'utilisation des chaussures

Le biais lié à l'utilisation des chaussures à PFC n'est pas à négliger. En effet, ceux qui utilisent ce type de chaussures de manière systématique ne représentant que 7% (35 utilisateurs) de l'ensemble des utilisateurs (505), on peut être sceptique quant au ratio du nombre de blessés avec ces chaussures. Il est légitime de s'interroger sur un ratio d'utilisation de ces chaussures qui entraînerait plus ou moins de blessures. Néanmoins, les statistiques ont démontré que les ratios du nombre de blessés selon le type d'utilisation de ces chaussures à PFC est sensiblement le même.

5.2. Résultats corrélés à la littérature

Tout d'abord, à l'inverse de ce qui a été démontré dans la littérature concernant le risque de blessures selon le sexe, l'analyse du questionnaire a mis en évidence que les hommes se blessent plus que les femmes (27).

Ensuite, il a été indiqué en introduction que les hommes étaient plus attirés par la performance que les femmes et que cette recherche de performance pouvait augmenter le risque de blessures chez les coureurs (31). Les hommes étant les principaux utilisateurs de chaussures à PFC, cela pourrait expliquer également la raison pour laquelle ils sont finalement plus blessés que les femmes.

De plus, toutes les analyses statistiques ont permis de mettre en évidence qu'il y avait un lien entre le type de chaussures utilisé et le risque de blessures. Néanmoins, bien que les chaussures de course soient considérées comme un facteur de risque extrinsèque, il est difficile de prouver l'impact réel de celles-ci.

En effet, l'article de N. Relph et ses collaborateurs dans lequel ils ont étudié 12 essais avec un total de 11 240 coureurs a démontré que « le niveau de confiance des données probantes déterminant si les différents types de chaussures de course influencent les taux de blessures liées à la course à pied était très faible », tout en insistant sur le fait qu'il faille aller plus loin dans la recherche en analysant chaque type de chaussures spécifiquement (49).

6. CONCLUSION ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE

La course à pied est l'un des sports les plus pratiqués en France et dans le monde, ce qui en fait également l'un des sports comptant le plus de sportifs blessés. Les facteurs de risque de blessures chez les coureurs sont très nombreux et c'est ce qui entraîne un nombre élevé de consultations chez les professionnels de santé.

L'objectif de cette étude était de répondre à la problématique et ainsi de déterminer si les chaussures à plaque en fibres de carbone pouvaient être responsables de blessures aux membres inférieurs chez les coureurs à pied récréatifs.

Les réponses au questionnaire ont été analysées afin de comparer les populations de coureurs utilisant les chaussures à PFC et ceux n'en utilisant pas, mais également pour comparer les différents facteurs de risque entre eux.

Même si cela a déjà été affirmé par la littérature, l'étude a confirmé que les chaussures de course à pied sont un facteur de risque de blessures. Elle a également démontré qu'il y a un lien fort entre le nombre de coureurs blessés et le type de chaussures, et que les utilisateurs de chaussures à PFC sont moins blessés que les autres coureurs. Toutefois, il faut prendre en

compte le fait que l'étude puisse être biaisée s'agissant de la population interrogée et de l'utilisation des chaussures, ainsi qu'il a été dit ci-avant.

Cette étude permet malgré tout d'exclure l'hypothèse initiale H0 selon laquelle la prévalence des blessures du membre inférieur chez les coureurs à pieds récréatifs augmenterait avec l'utilisation de chaussures de course à pied à plaque en fibres de carbone, sans pouvoir totalement valider l'hypothèse H1, selon laquelle il n'y aurait pas plus de blessures avec l'utilisation de chaussures de course à pied à plaque en fibres de carbone qu'avec d'autres types de chaussures.

Pour valider totalement l'hypothèse H1, il faudrait réaliser des études plus poussées et protocolisées, à l'instar des chaussures minimalistes, très à la mode sur la dernière décennie chez les coureurs, ou encore des chaussures typées pour coureurs « pronateurs » ou « supinateurs ».

En effet, la littérature scientifique n'ayant que trop peu de recul sur ce type de chaussures, il pourrait être judicieux de s'inspirer des protocoles de recherche des chaussures minimalistes afin de déterminer réellement le risque de blessures associé. On pourrait par exemple reprendre le protocole de M. Ryan et ses collaborateurs en 2012 dans lequel une centaine de coureurs s'est vu attribuer différents types de chaussures avant de commencer un programme d'entraînement de 12 semaines afin de préparer une course de 10 kilomètres. Les coureurs avaient des caractéristiques similaires en ce qui concerne leur âge, leur poids, les blessures antérieures, le nombre hebdomadaire de kilomètres parcourus. Le protocole avait mis en évidence que « courir en chaussures minimalistes semble augmenter la probabilité de subir une blessure pour cette population » (50).

BIBLIOGRAPHIE

1. Pereira HV, Palmeira AL, Encantado J, Marques MM, Santos I, Carraa EV, et al. Systematic Review of Psychological and Behavioral Correlates of Recreational Running. *Front Psychol.* 7 mai 2021;12:624783.
2. INJEP [Internet]. [cité 15 sept 2023]. Baromètre national des pratiques sportives 2022 - INJEP - Jörg MÜLLER, CRÉDOC. Disponible sur: <https://injep.fr/publication/barometre-national-des-pratiques-sportives-2022/>
3. cycles T text provides general information S assumes no liability for the information given being complete or correct D to varying update, Text SCDM up to DDTR in the. Statista. [cité 15 sept 2023]. Topic: Running & Jogging. Disponible sur: <https://www.statista.com/topics/1743/running-and-jogging/>
4. Deux tiers des 15 ans ou plus ont une activité physique ou sportive régulière en 2020 – France, portrait social | Insee [Internet]. [cité 15 sept 2023]. Disponible sur: <https://www.insee.fr/fr/statistiques/6535289?sommaire=6535307&q=sport+course#onglet-2>
5. Lee DC, Pate RR, Lavie CJ, Sui X, Church TS, Blair SN. Leisure-time running reduces all-cause and cardiovascular mortality risk. *J Am Coll Cardiol.* 5 août 2014;64(5):472-81.
6. Oja P, Titze S, Kokko S, Kujala UM, Heinonen A, Kelly P, et al. Health benefits of different sport disciplines for adults: systematic review of observational and intervention studies with meta-analysis. *Br J Sports Med.* avr 2015;49(7):434-40.
7. Dhillon J, Kraeutler MJ, Belk JW, Scillia AJ, McCarty EC, Ansah-Twum JK, et al. Effects of Running on the Development of Knee Osteoarthritis: An Updated Systematic Review at Short-Term Follow-up. *Orthop J Sports Med.* mars 2023;11(3):23259671231152900.
8. Timmins KA, Leech RD, Batt ME, Edwards KL. Running and Knee Osteoarthritis: A Systematic Review and Meta-analysis. *Am J Sports Med.* mai 2017;45(6):1447-57.
9. Mikkelsen K, Stojanovska L, Polenakovic M, Bosevski M, Apostolopoulos V. Exercise and mental health. *Maturitas.* 1 déc 2017;106:48-56.
10. McCormick A, Pedmanson P, Jane B, Watson P. How do new runners maintain their running, and what leads to others stopping? A qualitative, longitudinal study. *Psychol Sport Exerc.* 23 août 2023;102515.
11. Lev A. Becoming a long-distance runner – deriving pleasure and contentment in times of pain and bodily distress. *Leis Stud.* 2 nov 2019;38(6):790-803.
12. Kluitenberg B, van Middelkoop M, Diercks R, van der Worp H. What are the Differences in Injury Proportions Between Different Populations of Runners? A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med Auckl NZ.* août 2015;45(8):1143-61.
13. Menéndez C, Batalla L, Prieto A, Rodríguez MÁ, Crespo I, Olmedillas H. Medial Tibial Stress Syndrome in Novice and Recreational Runners: A Systematic Review. *Int J Environ Res Public Health.* oct 2020;17(20):7457.
14. Yamaguchi A, Shouji M, Akizuki A, Inoue K, Fukuie T, Sakuma K, et al. Interactions between monthly training volume, frequency and running distance per workout on marathon time. *Eur J Appl Physiol.* janv 2023;123(1):135-41.
15. Burke A, Dillon S, O'Connor S, Whyte EF, Gore S, Moran KA. Aetiological Factors of Running-Related Injuries: A 12 Month Prospective « Running Injury Surveillance Centre » (RISC) Study. *Sports Med - Open.* 13 juin 2023;9(1):46.
16. Dallinga J, Van Rijn R, 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.* 2019;5(1):e000489.
17. Yamato TP, Saragiotto BT, Lopes AD. A consensus definition of running-related injury in recreational runners: a modified Delphi approach. *J Orthop Sports Phys Ther.* mai 2015;45(5):375-80.
18. Paul Grimshaw, Michael Cole, Adrian Burden, Neil Fowler. *Biomécanique du sport et de l'exercice.* 2nde édition. 2021. (De Boeck Supérieur).

19. Blaise Dubois, Frédéric Berg, al. La clinique du coureur. Editions Mons. 2019.
20. Arnaud Delafontaine. Locomotion humaine: marche, course - Bases fondamentales, évaluation clinique et applications thérapeutiques de l'enfant à l'adulte. 1ère édition. Elsevier Masson; 2018.
21. Hasegawa H, Yamauchi T, Kraemer WJ. Foot strike patterns of runners at the 15-km point during an elite-level half marathon. *J Strength Cond Res.* août 2007;21(3):888-93.
22. Chapireau F. La classification internationale du fonctionnement, du handicap et de la santé. *Gérontologie Société.* 2001;24 / 99(4):37-56.
23. Kakouris N, Yener N, Fong DTP. A systematic review of running-related musculoskeletal injuries in runners. *J Sport Health Sci.* sept 2021;10(5):513-22.
24. Ceysens L, Vanelderen R, Barton C, Malliaras P, Dingenen B. Biomechanical Risk Factors Associated with Running-Related Injuries: A Systematic Review. *Sports Med Auckl NZ.* juill 2019;49(7):1095-115.
25. van der Worp MP, ten Haaf DSM, van Cingel R, de Wijer A, Nijhuis-van der Sanden MWG, Staal JB. Injuries in runners; a systematic review on risk factors and sex differences. *PloS One.* 2015;10(2):e0114937.
26. Nielsen RO, Buist I, Parner ET, Nohr EA, Sørensen H, Lind M, et al. Predictors of Running-Related Injuries Among 930 Novice Runners: A 1-Year Prospective Follow-up Study. *Orthop J Sports Med.* 2013;1(1):2325967113487316.
27. Hollander K, Rahlf AL, Wilke J, Edler C, Steib S, Junge A, et al. Sex-Specific Differences in Running Injuries: A Systematic Review with Meta-Analysis and Meta-Regression. *Sports Med Auckl Nz.* 2021;51(5):1011-39.
28. Burke A, Dillon S, O'Connor S, Whyte EF, Gore S, Moran KA. Risk Factors for Injuries in Runners: A Systematic Review of Foot Strike Technique and Its Classification at Impact. *Orthop J Sports Med.* sept 2021;9(9):23259671211020283.
29. Hollander K, Johnson CD, Outerleys J, Davis IS. Multifactorial Determinants of Running Injury Locations in 550 Injured Recreational Runners. *Med Sci Sports Exerc.* 1 janv 2021;53(1):102-7.
30. Ivarsson A, Johnson U, Andersen MB, Tranaeus U, Stenling A, Lindwall M. Psychosocial Factors and Sport Injuries: Meta-analyses for Prediction and Prevention. *Sports Med Auckl NZ.* févr 2017;47(2):353-65.
31. Kemler E, Huisstede B. Performance goals of runners are associated with the occurrence of running-related injuries. *Phys Ther Sport Off J Assoc Chart Physiother Sports Med.* juill 2021;50:153-8.
32. Hespanhol Junior LC, Pena Costa LO, Lopes AD. Previous injuries and some training characteristics predict running-related injuries in recreational runners: a prospective cohort study. *J Physiother.* déc 2013;59(4):263-9.
33. Willwacher S, Kurz M, Robbin J, Thelen M, Hamill J, Kelly L, et al. Running-Related Biomechanical Risk Factors for Overuse Injuries in Distance Runners: A Systematic Review Considering Injury Specificity and the Potentials for Future Research. *Sports Med Auckl Nz.* 2022;52(8):1863-77.
34. Ramsey CA, Lamb P, Kaur M, Baxter GD, Ribeiro DC. How are running shoes assessed? A systematic review of characteristics and measurement tools used to describe running footwear. *J Sports Sci.* juill 2019;37(14):1617-29.
35. Tarantino D, Mottola R, Resta G, Gnasso R, Palermi S, Corrado B, et al. Achilles Tendinopathy Pathogenesis and Management: A Narrative Review. *Int J Environ Res Public Health.* 30 août 2023;20(17):6681.
36. Magnan B, Bondi M, Pierantoni S, Samaila E. The pathogenesis of Achilles tendinopathy: A systematic review. *Foot Ankle Surg.* 1 sept 2014;20(3):154-9.
37. Zhang M, Zhou X, Zhang L, Liu H, Yu B. The effect of heel-to-toe drop of running shoes on patellofemoral joint stress during running. *Gait Posture.* 1 mars 2022;93:230-4.
38. Esculier JF, Dubois B, Dionne CE, Leblond J, Roy JS. A consensus definition and rating

scale for minimalist shoes. *J Foot Ankle Res.* 19 août 2015;8(1):42.

39. Perkins KP, Hanney WJ, Rothschild CE. The risks and benefits of running barefoot or in minimalist shoes: a systematic review. *Sports Health.* nov 2014;6(6):475-80.
40. Guinness J, Bhattacharya D, Chen J, Chen M, Loh A. An Observational Study of the Effect of Nike Vaporfly Shoes on Marathon Performance [Internet]. *arXiv*; 2020 [cité 16 sept 2023]. Disponible sur: <http://arxiv.org/abs/2002.06105>
41. Hoogkamer W, Kipp S, Frank JH, Farina EM, Luo G, Kram R. A Comparison of the Energetic Cost of Running in Marathon Racing Shoes. *Sports Med Auckl NZ.* avr 2018;48(4):1009-19.
42. Ortega JA, Healey LA, Swinnen W, Hoogkamer W. Energetics and Biomechanics of Running Footwear with Increased Longitudinal Bending Stiffness: A Narrative Review. *Sports Med.* 1 mai 2021;51(5):873-94.
43. Hoogkamer W, Kipp S, Kram R. The Biomechanics of Competitive Male Runners in Three Marathon Racing Shoes: A Randomized Crossover Study. *Sports Med Auckl NZ.* janv 2019;49(1):133-43.
44. Bone Stress Injuries in Runners Using Carbon Fiber Plate Footwear | Sports Medicine [Internet]. [cité 28 févr 2024]. Disponible sur: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40279-023-01818-z>
45. Hébert-Losier K, Finlayson SJ, Driller MW, Dubois B, Esculier JF, Beaven CM. Metabolic and performance responses of male runners wearing 3 types of footwear: Nike Vaporfly 4%, Saucony Endorphin racing flats, and their own shoes. *J Sport Health Sci.* 1 mai 2022;11(3):275-84.
46. Healey LA, Hoogkamer W. Longitudinal bending stiffness does not affect running economy in Nike Vaporfly Shoes. *J Sport Health Sci.* mai 2022;11(3):285-92.
47. Oh K, Park S. The bending stiffness of shoes is beneficial to running energetics if it does not disturb the natural MTP joint flexion. *J Biomech.* 28 févr 2017;53:127-35.
48. Beck ON, Golyski PR, Sawicki GS. Adding carbon fiber to shoe soles may not improve running economy: a muscle-level explanation. *Sci Rep.* 13 oct 2020;10:17154.
49. Relph N, Greaves H, Armstrong R, Prior TD, Spencer S, Griffiths IB, et al. Running shoes for preventing lower limb running injuries in adults. *Cochrane Database Syst Rev* [Internet]. 2022 [cité 4 mars 2024];(8). Disponible sur: <https://www.cochranelibrary.com/cdsr/doi/10.1002/14651858.CD013368.pub2/full/fr>
50. Ryan M, Elashi M, Newsham-West R, Taunton J. Examining injury risk and pain perception in runners using minimalist footwear. *Br J Sports Med.* août 2014;48(16):1257-62.

ANNEXE

ANNEXE 1 - Questionnaire

Questionnaire à l'attention des coureurs à pied sur route.



Dans le cadre de mon mémoire de recherche de dernière année en masso-kinésithérapie, je vous remercie de bien vouloir répondre à ce questionnaire qui concerne votre pratique de la course à pied.

PS : si vous pratiquez exclusivement le trail, le sprint, ou que vous êtes coureur à pied professionnel, merci de ne pas participer à cette étude.

Partie 1 - A propos de vous

Description (facultative)



Pratiquez-vous la course à pied sur route ? *

☐ Oui

☐ Non

Vous êtes ? *

☐ Une femme

☐ Un homme

A quelle catégorie d'âge appartenez-vous ? *

☐ - de 18 ans

☐ 18-25 ans

☐ 26-30 ans

☐ 31-35 ans

☐ 36-40 ans

☐ 41-45 ans

☐ 46-50 ans

☐ +50 ans

Partie 2 - A propos des blessures



On entendra par blessure, toute pathologie ayant entraîné une diminution ou un arrêt de la pratique

Avez-vous déjà été blessé(e) lors de votre pratique de la course à pied ? *

☐ Oui

☐ Non

Partie 2 - A propos des blessures



Description (facultative)

Parmi ces pathologies, laquelle correspond à votre **dernière** blessure ? *

1. Entorse de cheville
2. Fracture de stress (ou de fatigue)
3. Métatarsalgie (douleur des os de l'avant pied)
4. Aponévrosite plantaire ou épine calcanéenne (point localisé au talon)
5. Talalgie (douleur globale au talon)
6. Périostite (douleur sur l'os du tibia)
7. Tendinopathie du tendon d'Achille
8. Syndrome fémoro-patellaire (douleur centrale au genou)
9. Syndrome de la bandelette ou "essuie-glace" (douleur face externe du genou)
10. Syndrome de la patte d'oie (douleur face interne du genou)
11. Tendinopathie du tendon rotulien (tendon sous le genou)
12. Claquage des muscles de la cuisse (ischio-jambiers/quadriceps)
13. Pubalgie (douleur au niveau des adducteurs, du pubis)
14. Douleurs dans la fesse
15. Douleurs de hanche
16. Douleurs lombaires

Partie 2 - A propos des blessures



Description (facultative)

Pouvez-vous indiquer la date de cette dernière blessure ? (mois et année) *

Réponse courte



Etes-vous toujours blessé(e) actuellement ? *

☐ Oui

☐ Non

Partie 3 - A propos de votre pratique



Description (facultative)



Pourquoi pratiquez-vous la course à pied ? *

☐ Plaisir

☐ Perte de poids

☐ Performance et/ou compétitions

☐ Santé

☐ Autre

Partie 3 - A propos de votre pratique



Description (facultative)



Pourquoi pratiquez-vous la course à pied ? *

☐ Plaisir

☐ Perte de poids

☐ Performance et/ou compétitions

☐ Santé

☐ Autre

Combien de séances faites-vous par **semaine** en moyenne ? *

- ☐ 1
- ☐ 2
- ☐ 3
- ☐ 4
- ☐ + de 4 séances

Combien de kilomètres faites-vous par **semaine** en moyenne ? *

- ☐ 1-5 km
- ☐ 5-10 km
- ☐ 10-20 km
- ☐ 20-30 km
- ☐ 30-40 km
- ☐ + de 40 km

Quel(s) type(s) de séance(s) pratiquez-vous ? *

- ☐ Endurance/footing
- ☐ Fractionné
- ☐ Séance de seuil/d'allure

Comment choisissez-vous votre paire de chaussure de course ? *

- ☐ Confort
- ☐ Esthétique
- ☐ Performance
- ☐ Distance de course

Comment effectuez-vous la transition lors de l'achat d'une nouvelle paire ? *

- ☐ Je jette l'ancienne et ne cours qu'avec la nouvelle paire
- ☐ J'effectue une transition lente en alternant l'ancienne et la nouvelle paire

...

Utilisez-vous différentes paires de chaussures lors de votre pratique ? *

- ☐ Oui
- ☐ Non

Partie 3 - A propos de votre pratique



Description (facultative)

...

Pourquoi effectuez-vous une rotation entre vos paires de chaussures ? *

- ☐ Pour réduire l'usure de certaines paires, notamment quand le prix est élevé
- ☐ Pour les caractéristiques de la chaussure (poids, amorti, drop, confort..) en fonction de l'entraînement
- ☐ Pour ne pas habituer mon corps à courir toujours avec la même paire

Partie 4 - A propos de vos objectifs de course



Description (facultative)

...

Etes-vous inscrit(e) ou comptez-vous vous inscrire à une course pour la saison à venir ? *

- ☐ Oui
- ☐ Non

Partie 4 - A propos de vos objectifs de course



Description (facultative)

...

Quelle(s) course(s) préparez-vous ? *

- ☐ 5 km
- ☐ 10 km
- ☐ Semi-marathon
- ☐ Marathon
- ☐ Autre

Partie 4 - A propos de vos objectifs de course



Description (facultative)

...

Afin de préparer votre course, suivez-vous un programme d'entraînement particulier (application, coach..) ? *

☐ Oui

☐ Non

Partie 4 - A propos de vos objectifs de course



Description (facultative)

Dans ce cas, comment comptez-vous vous entraîner ? *

☐ Je ne vais rien changer à ma pratique actuelle

☐ Je vais augmenter le nombre d'entraînement

☐ Je vais augmenter le nombre de km à chaque entraînement

☐ Je vais varier le type de séance (fractionné/seuil/footing)

☐ Autre

Partie 5 - A propos de vos chaussures



Description (facultative)

...

Connaissez-vous les chaussures de course à plaque carbone ? *

☐ Oui

☐ Non

Utilisez-vous ou avez-vous déjà utilisé ce type de chaussures ? *

☐ Oui

☐ Non

Depuis quand utilisez-vous ce type de chaussures ? (mois et année) *

Réponse courte

Avez-vous ressenti une différence sur vos performances depuis l'utilisation de ces chaussures ? *

- ☐ Oui, de manière positive
- ☐ Oui, de manière négative
- ☐ Non, aucune différence

...

Avez-vous ressenti une différence sur votre foulée depuis l'utilisation de ces chaussures ? *

- ☐ Oui
- ☐ Non

...

Pour quelle(s) raison(s) utilisez-vous ce type de chaussures ? *

- ☐ Pour améliorer mes performances (vitesse/économie de course, etc.)
- ☐ Parce qu'elles m'ont été conseillées par un vendeur ou un professionnel de santé
- ☐ Parce qu'elles m'ont été recommandées par mon entourage
- ☐ Pour l'esthétique
- ☐ Parce que j'ai été influencé(e) par quelqu'un de "connu" (réseaux sociaux, publicité, etc.)
- ☐ Autre

A quelle fréquence utilisez-vous ces chaussures? *

- ☐ A chaque entraînement
- ☐ J'alterne avec d'autres paires
- ☐ Uniquement pour les compétitions

...

Avez-vous effectué une transition entre le passage d'une chaussure "classique" à une chaussure à plaque carbone ? *

- ☐ Oui, en intégrant progressivement l'utilisation de ces chaussures dans mes entraînements
- ☐ Oui, en diminuant le volume d'entraînements afin d'habituer mon corps à cette nouvelle paire
- ☐ Non, j'ai couru uniquement avec cette nouvelle paire sans modification de mes entraînements

Avez-vous déjà été blessé(e) (diminution ou arrêt de l'activité) depuis l'utilisation de ces chaussures ? *

- ☐ Oui
- ☐ Non

Partie 5 - A propos de vos chaussures

⌵
⌶

Description (facultative)

...

Avez-vous repris la course avec des chaussures "classiques" depuis cette blessure ? (arrêt complet de l'utilisation des chaussures à plaque carbone) *

- ☐ Oui mais je suis toujours blessé(e)
- ☐ Oui et je ne suis plus blessé(e)
- ☐ Non mais je suis toujours blessé(e)
- ☐ Non et je ne suis plus blessé(e)
- ☐ Je n'ai pas repris la course depuis

Résumé

Introduction : La course à pied est l'un des sports les plus pratiqués, peu importe le sexe et l'âge. Cette pratique qui croît d'années en années entraîne également une hausse du nombre de blessures, les coureurs faisant parti des sportifs ayant le plus de blessures dans leur pratique. Afin d'améliorer le confort et les performances en compétition, les marques s'emploient à développer toujours plus de technologies. Ces dernières années, ce sont les chaussures à plaque en fibres de carbone qui ont fait leur apparition avec une promesse de gain de performance grâce à une diminution du coût énergétique. L'impact marketing est tel que de nombreux coureurs récréatifs, et non plus seulement les élites, se tournent vers ces paires. En considérant la chaussure comme un facteur de risque, on peut légitimement se poser la question de l'impact de cette nouvelle technologie. L'objectif de cette enquête est de déterminer si cette technologie entraîne un risque de blessure accru aux membres inférieurs comparativement aux chaussures ne possédant pas cette technologie.

Méthode et Matériel : Cette enquête est basée sur un questionnaire destiné aux coureurs à pied utilisant ou non les chaussures à plaque en fibres de carbone (PFC). Elle est partagée sur les réseaux sociaux et aux fédérations d'athlétisme et de triathlon afin d'atteindre un panel élevé de répondant et d'investiguer sur les pratiques des coureurs.

Résultats : 1766 réponses ont été reçues, mais seulement 1726 ont été utilisées. Parmi ces 1726 réponses, on retrouve 505 utilisateurs de chaussures à plaque en fibres de carbone, pour 1221 coureurs qui ne les utilisent pas. On retrouve 32% de blessés chez les utilisateurs de chaussures à PFC contre 69% chez les utilisateurs n'utilisant pas cette technologie.

Discussion : Cette enquête montre une différence significative entre le nombre de blessés avec ou sans chaussures à plaque en fibres de carbone. Néanmoins, celle-ci présente certains biais concernant la population étudiée, le questionnaire et l'utilisation des chaussures de course.

Conclusion : Les chaussures à plaque en fibres de carbone entraîneraient moins de blessures que des chaussures classiques. Néanmoins, des recherches plus poussées comparant spécifiquement les deux types de chaussures devraient être effectuées avec notamment la mise en place d'un protocole strict.

Mots clés : course à pied, kinésithérapie, prévention, chaussures de course, blessures, plaque carbone

Abstract

Introduction: Running is one of the most widely practiced sports, regardless of gender and age. This practice, which is growing year by year, also leads to an increase in the number of injuries, with runners being among the athletes with the highest injury rates in their practice. In order to improve comfort and performance in competition, brands are striving to develop ever more technologies. In recent years, carbon fiber plate shoes have emerged with a promise of performance enhancement through a decrease in energy cost. The marketing impact is such that many recreational runners, not just elites, are turning to these pairs. Considering the shoe as a risk factor, one can legitimately ask about the impact of this new technology. The aim of this investigation is to determine whether this technology leads to an increased risk of lower limb injuries compared to shoes without this technology.

Method and Material: This survey is based on a questionnaire aimed at runners who use or do not use carbon fiber plate shoes (CFPS). It is shared on social networks and with athletics and triathlon federations in order to reach a large panel of respondents and investigate the practices of runners.

Results: 1766 responses were received, but only 1726 were used. Among these 1726 responses, there are 505 users of carbon fiber plate shoes, compared to 1221 runners who do not use them. There are 32% of injured individuals among CFPS users compared to 69% among non-users of this technology.

Discussion: This survey shows a significant difference in the number of injuries with or without carbon fiber plate shoes. However, it has certain biases concerning the studied population, the questionnaire, and the use of running shoes.

Conclusion: Carbon fiber plate shoes would result in fewer injuries than traditional shoes. However, further research comparing specifically the two types of shoes should be conducted, including the implementation of a strict protocol.

Keywords: running, physiotherapy, prevention, running shoes, injuries, carbon plate