



**HAL**  
open science

# Évaluer la prévalence des blessures des membres inférieurs lors de l'utilisation de la chaussure plaque carbone chez des coureurs réguliers sur les saisons 2021 et 2022

Clara Lemaire

## ► To cite this version:

Clara Lemaire. Évaluer la prévalence des blessures des membres inférieurs lors de l'utilisation de la chaussure plaque carbone chez des coureurs réguliers sur les saisons 2021 et 2022. Médecine humaine et pathologie. 2023. <dumas-04510589>

**HAL Id: dumas-04510589**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04510589v1>**

Submitted on 19 Mar 2024

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

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



Distributed under a Creative Commons CC BY-NC-SA 4.0 - Attribution - Non-commercial use - ShareAlike - International License

UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER  
FACULTÉ DE MÉDECINE MONTPELLIER-NÎMES

**THÈSE**  
Pour obtenir le titre de  
**DOCTEUR EN MÉDECINE**

Présentée et soutenue publiquement

Par

**Clara LEMAIRE**

le 24 Novembre 2023

**TITRE**

Évaluer la prévalence des blessures des membres inférieurs lors de l'utilisation de la chaussure plaque carbone chez des coureurs réguliers sur les saisons 2021 et 2022.

Directeurs de thèse : Dr MARAFFI Samuel et Dr HIRT Daniel

**JURY**

Présidente : Professeur CYTEVAL Catherine

Assesseurs : 1<sup>er</sup> Assesseur Dr RÉMY Paul

2<sup>ème</sup> Assesseur : Dr MARAFFI Samuel

3<sup>ème</sup> Assesseur : Dr HIRT Daniel

UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER  
FACULTÉ DE MÉDECINE MONTPELLIER-NÎMES

**THÈSE**  
Pour obtenir le titre de  
**DOCTEUR EN MÉDECINE**

Présentée et soutenue publiquement

Par

**Clara LEMAIRE**

le 24 Novembre 2023

**TITRE**

Évaluer la prévalence des blessures des membres inférieurs lors de l'utilisation de la chaussure plaque carbone chez des coureurs réguliers sur les saisons 2021 et 2022.

Directeurs de thèse : Dr MARAFFI Samuel et Dr HIRT Daniel

**JURY**

Présidente : Professeur CYTEVAL Catherine

Assesseurs : 1<sup>er</sup> Assesseur Dr RÉMY Paul

2<sup>ème</sup> Assesseur : Dr MARAFFI Samuel

3<sup>ème</sup> Assesseur : Dr HIRT Daniel

**ANNEE UNIVERSITAIRE 2022-2023**  
**PERSONNEL ENSEIGNANT**

**Professeurs Honoraires**

ALBAT Bernard	BRUNEL Michel	HERTAULT Jean	NAVARRO Maurice
ALLIEU Yves	CAMU William	HUMEAU Claude	NAVRATIL Henri
ALRIC Robert	CANAUD Bernard	JAFFIOL Claude	OTHONIEL Jacques
ARNAUD Bernard	CHAPTAL Paul-André	JANBON Charles	PAGES Michel
ASENCIO Gérard	CIURANA Albert-Jean	JANBON François	PEGURET Claude
ASTRUC Jacques	CLOT Jacques	JARRY Daniel	PELISSIER Jacques
AUSS LLOUX Charles	COSTA Pierre	JOURDAN Jacques	PETIT Pierre
AVEROUS Michel	COTTALORDA Jérôme	KLE N Bernard	POUGET Régis
AYRAL Guy	D'ATHIS Françoise	LAFFARGUE François	PUJOL Henri
BA LLAT Xavier	DEMAILLE Jacques	LALLEMANT Jean Gabriel	RABISCHONG Pierre
BALDET Pierre	DESCOMPS Bernard	LAMARQUE Jean-Louis	RAMUZ Michel
BALDY-MOUL NIER Michel	DIMEGLIO Alain	LAPEYR E Henri	REBOUL Jean
BALMES Jean-Louis	DUBOIS Jean Bernard	LEROUX Jean-Louis	RIEU Daniel
BANSARD Nicole	DUJOLS Pierre	LESBROS Daniel	ROCHFORT Henri
B LLIARD Michel	DUMAZER Romain	LOPEZ François Michel	ROUANET DE VIGNE LAVIT Jean Pierre
BLARD Jean-Marie	ECHENNE Bernard	LORIoT Jean	SA NT-AUBERT Bernard
BLAYAC Jean Pierre	FABRE Serge	LOUBATIERES Marie Madeleine	SANCHO-GARN ER Hélène
BLOTMAN Francis	FREREBEAU Philippe	MAGNAN DE BORN ER Bernard	SANY Jacques
BONNEL François	GAL FER René Benoît	MARTY ANE Charles	SEGNARBIEUX François
BOURGEOIS Jean-Marie	GODLEWSKI Guilhem	MATHIEU-DAUDE Pierre	SENAC Jean-Paul
BOUSQUET Jean	GRASSET Daniel	MEYNAD ER Jean	SERRE Arlette
BRUEL Jean Michel	GUILHOU Jean-Jacques	MICHEL François-Bernard	TOUITOU Isabelle
BUREAU Jean-Paul	GUITER Pierre	MION Charles	V DAL Jacques
	HEDON berbard	M RO Luis	VISIER Jean Pierre

**Professeurs Emérites**

**Docteurs Emerites**

ARTUS Jean-Claude	JONQUET Olivier	VOISIN Michel	PRAT Dominique
BAST EN Patrick	LANDAIS Paul	ZANCA Michel	PUJOL Joseph
BLANC François	LARREY Dominique		
BONAFE Alain	LE QUELLEC Alain		
BOULENGER Jean-Philippe	MARES Pierre		
BOURREL Gérard	MAUDELONDE Thierry		
BRINGER Jacques	MAURY Michèle		
CLAUSTRES Mireille	MESSNER Patrick		
COMBE Bernard	M LLAT Bertrand		
DAURES Jean-Pierre	MONNIER Louis		
DAUZAT Michel	MOURAD Georges		
DAVY Jean-Marc	PREFAUT Christian		
DEDET Jean-Pierre	PUJOL Rémy		
DE LA COUSSAYE Jean-Emmanuel	RIBSTEIN Jean		
GROLLEAU RAOUX Robert	SCHVED Jean-François		
GUERRER Bernard	SULTAN Charles		
GU LLOT Bernard	TOUCHON Jacques		
HERISSON Christian	UZ EL Alain		

**Professeurs des Universités - Praticiens Hospitaliers**

**PU-PH de classe exceptionnelle**

ALRIC Pierre	Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire (option chirurgie vasculaire)
BACCINO Eric	Médecine légale et droit de la santé
BEREGI Jean-Paul	Radiologie et imagerie médicale
BLAIN Hubert	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement, médecine générale, addictologie
BOULOT Pierre	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
CANOVAS François	Anatomie
CAPDEVILA Xavier	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
CHAMMAS Michel	Chirurgie orthopédique et traumatologique
COLSON Pascal	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
COSTES Valérie	Anatomie et cytologie pathologiques
COUBES Philippe	Neurochirurgie
COURTET Philippe	Psychiatrie d'adultes ; addictologie
CRAMPETTE Louis	Oto-rhino-laryngologie
CRISTOL Jean Paul	Biochimie et biologie moléculaire
CYTEVAL Catherine	Radiologie et imagerie médicale
DE WAZIERES Benoît	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement, médecine générale, addictologie
DELAPORTE Eric	Maladies infectieuses ; maladies tropicales
DEMOLY Pascal	Pneumologie ; addictologie
DOMERGUE Jacques	Chirurgie viscérale et digestive
DUFFAU Hugues	Neurochirurgie
ELIAOU Jean François	Immunologie
FABRE Jean Michel	Chirurgie viscérale et digestive
HAMAMAH Samir	Biologie et Médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale
JABER Samir	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
JEANDEL Claude	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement, médecine générale, addictologie
JORGENSEN Christian	Thérapeutique ; médecine d'urgence ; addictologie
KOENIG Michel	Génétique
KOTZKI Pierre Olivier	Biophysique et médecine nucléaire
LABAUGE Pierre	Neurologie
LAFFONT Isabelle	Médecine physique et de réadaptation

LEFRANT Jean-Yves	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
LEHMANN Sylvain	Biochimie et biologie moléculaire
LUMBROSO Serge	Biochimie et Biologie moléculaire
MARIANO-GOULART Denis	Biophysique et médecine nucléaire
MERCER Jacques	Physiologie
MEUNER Laurent	Dermato-vénérologie
MONDAN Michel	Oto-rhino-laryngologie
MORIN Denis	Pédiatrie
PAGEAUX Georges-Philippe	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
PUJOL Pascal	Biologie cellulaire
QUERE Isabelle	Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire (option médecine vasculaire)
RENARD Eric	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques ; gynécologie médicale
REYNES Jacques	Maladies infectieuses, maladies tropicales
RPART Jacques	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
ROUANET Philippe	Cancérologie ; radiothérapie
SOTTO Albert	Maladies infectieuses ; maladies tropicales
TAOUREL Patrice	Radiologie et imagerie médicale
VANDEPERRE Philippe	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
VERNHET Hélène	Radiologie et imagerie médicale
YCHOU Marc	Cancérologie ; radiothérapie

**PU-PH de 1<sup>re</sup> classe**

AGUILAR MART NEZ Patricia	Hématologie ; transfusion
ASSENAT Éric	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
AVIGNON Antoine	Nutrition
AZRIA David	Cancérologie ; radiothérapie
BAGHDADLI Amaria	Pédopsychiatrie ; addictologie
BLANC Pierre	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
BORIE Frédéric	Chirurgie viscérale et digestive
BOURDIN Arnaud	Pneumologie ; addictologie
CAMBONIE Gilles	Pédiatrie
CAPTIER Guillaume	Anatomie

CARTRON Guillaume	Hématologie ; transfusion
CAYLA Guillaume	Cardiologie
CHANQUES Gérald	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
CORBEAU Pierre	Immunologie
COULET Bertrand	Chirurgie orthopédique et traumatologique
CUVILLON Philippe	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
DADURE Christophe	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
DAUVILLIERS Yves	Physiologie
DE TAYRAC Renaud	Gynécologie-obstétrique, gynécologie médicale
DE VOS John	Histologie, embryologie et cytogénétique
DEMARIA Roland	Chirurgie thoracique et cardio-vasculaire
DEREURE Olivier	Dermatologie - vénéréologie
DROUPY Stéphane	Urologie
DUCROS Anne	Neurologie
DUPEYRON Arnaud	Médecine physique et de réadaptation
FESLER Pierre	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement, médecine générale, addictologie
GARREL Renaud	Oto-rhino-laryngologie
GENEVIEVE David	Génétique
GUILLAUME Sébastien	Psychiatrie d'adultes ; addictologie
GUIU Boris	Radiologie et imagerie médicale
HAYOT Maurice	Physiologie
HOUEDE Nadine	Cancérologie ; radiothérapie
JUNG Boris	Médecine intensive-réanimation
KALFA Nicolas	Chirurgie infantile
KLOUCHE Kada	Médecine intensive-réanimation
KOUYOUMDJIAN Pascal	Chirurgie orthopédique et traumatologique
LACHAUD Laurence	Parasitologie et mycologie
LAVABRE-BERTRAND Thierry	Histologie, embryologie et cytogénétique
LAVIGNE Jean-Philippe	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
LE MOING Vincent	Maladies infectieuses ; maladies tropicales
LECLERCQ Florence	Cardiologie
MATECKI Stéfan	Physiologie

MORANNE Olivier	Néphrologie
MOREL Jacques	Rhumatologie
NAVARRO Francis	Chirurgie viscérale et digestive
NOCCA David	Chirurgie viscérale et digestive
PANARO Fabrizio	Chirurgie viscérale et digestive
PASQUIE Jean-Luc	Cardiologie
PEREZ MARTIN Antonia	Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire (option médecine vasculaire)
PERNEY Pascal	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement, médecine générale, addictologie
PRUDHOMME Michel	Anatomie
PUJOL Jean Louis	Pneumologie ; addictologie
PURPER-OUAKIL Diane	Pédopsychiatrie ; addictologie
ROGER Pascal	Anatomie et cytologie pathologiques
TRAN Tu-Anh	Pédiatrie

**PU-PH de 2ème classe**

AYRIGNAC Xavier	Neurologie
BELZEAUX Raoul	Psychiatrie d'adultes ; Addictologie
BERTRAND Martin	Anatomie
BOBBIA Xavier	Médecine d'urgence
BOURGIER Céline	Cancérologie; radiothérapie
CANAUD Ludovic	Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire (option chirurgie vasculaire)
CAPDEVIELLE Delphine	Psychiatrie d'Adultes ; addictologie
CLARET Pierre-Géraud	Médecine d'urgence
COLOMBO Pierre-Emmanuel	Cancérologie ; radiothérapie
COSTALAT Vincent	Radiologie et imagerie médicale
DAIEN Vincent	Ophthalmologie
DE JONG Audrey	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
DONNAD EU Hélène	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
DORANDEU Anne	Médecine légale et droit de la santé
FAILLIE Jean-Luc	Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie
FRANDON Julien	Radiologie et imagerie médicale
FUCHS Florent	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
GABELLE DELOUSTAL Audrey	Neurologie

GANDET Thomas	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
GAUJOUX Viala Cécile	Rhumatologie
GELIS Anthony	Médecine physique et de réadaptation
GODREUIL Sylvain	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
GUILPAIN Philippe	Médecine Interne, gériatrie et biologie du vieillissement; addictologie
HERLIN Christian	Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique, brulologie
IMMEDIATO DAIEN Claire	Rhumatologie
JACOT William	Cancérologie ; Radiothérapie
JEZORSKI Eric	Pédiatrie
LALLEMANT Benjamin	Oto-rhino-laryngologie
LATTUCA Benoît	Cardiologie
LE QUINTREC DONNETTE Moglie	Néphrologie
LETOUZEY Vincent	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
LONJON Nicolas	Neurochirurgie
LOPEZ CASTROMAN Jorge	Psychiatrie d'Adultes ; addictologie
LUKAS Cédric	Rhumatologie
MAKINSON Alain	Maladies infectieuses, Maladies tropicales
MENJOT de CHAMPFLEUR Nicolas	Radiologie et imagerie médicale
MILLET Ingrid	Radiologie et imagerie médicale
MURA Thibault	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de la communication
NAGOT Nicolas	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de la communication
OLIE Emilie	Psychiatrie d'adultes; addictologie
PARIS Françoise	Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale
PELLESTOR Franck	Histologie, embryologie et cytogénétique
PERS Yves-Marie	Thérapeutique; addictologie
POUDEROUX Philippe	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
RIGAU Valérie	Anatomie et cytologie pathologiques
RIVIER François	Pédiatrie
ROGER Claire	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
ROSSI Jean François	Hématologie ; transfusion
ROUBILLE François	Cardiologie
SEBBANE Mustapha	Médecine d'urgence

SIRVENT Nicolas	Pédiatrie
SOLASSOL Jérôme	Biologie cellulaire
STERKERS Yvon	Parasitologie et mycologie
STOEBNER Pierre	Dermato-vénérologie
SULTAN Ariane	Nutrition
THOUVENOT Éric	Neurologie
THURET Rodolphe	Urologie
TUAILLON Edouard	Bactériologie-virologie; hygiène hospitalière
VENAIL Frédéric	Oto-rhino-laryngologie
VILLAIN Max	Ophthalmologie
VINCENT Denis	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement, médecine générale, addictologie
VINCENT Thierry	Immunologie

#### PROFESSEURS DES UNIVERSITES

##### 1<sup>re</sup> classe

COLINGE Jacques (Cancérologie, Signalisation cellulaire et systèmes complexes)

LAOUDJ CHENIVESSE Dalila (Biochimie et biologie moléculaire)

VISIER Laurent (Sociologie, démographie)

##### 2<sup>ème</sup> classe :

CHAZAL Nathalie (Biologie cellulaire)

MOREAUX Jérôme (Sciences biologiques fondamentales et cliniques)

#### PROFESSEURS DES UNIVERSITES - Médecine générale

##### 1<sup>re</sup> classe :

AMOUYAL Michel

#### PROFESSEURS ASSOCIES - Médecine Générale

CLARY Bernard

GARCIA Marc

MLLION Elodie

REBOUL Marie-Catherine

#### PROFESSEURS ASSOCIES - Médecine

BESSIS Didier (Dermato-vénérologie)

DEB EN Blaise (Médecine d'urgence)

MEUN ER Isabelle (Ophthalmologie)

MULLER Laurent (Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire)

PERRIGAULT Pierre-François (Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire)

QUANT N Xavier (Pneumologie)

ROUBERT E Agathe (Pédiatrie)

V EL Eric (Soins palliatifs et traitement de la douleur)

### Maîtres de Conférences des Universités - Praticiens Hospitaliers

#### **MCU-PH Hors classe - Echelon Exceptionnel**

MARTR LLE Laurent Médecine légale et droit de la santé

RICHARD Bruno Médecine palliative

#### **MCU-PH Hors classe**

BADIOU Stéphanie Biochimie et biologie moléculaire

BOULLE Nathalie Biologie cellulaire

CACHEUX-RATABOUL Valère Génétique

CARRIERE Christian Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière

CHARACHON Sylvie Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière

FABBRO-PERAY Pascale Epidémiologie, économie de la santé et prévention

GIANS LY-BLAIZOT Muriel Hématologie ; transfusion

#### **MCU-PH de 1<sup>re</sup> classe**

BOUDOUSQ Vincent Biophysique et médecine nucléaire

BRET Caroline Hématologie biologique

BROUILLET Sophie Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale

COSSEE Mireille Génétique

GIRARDET-BESSIS Anne Biochimie et biologie moléculaire

HERRERO Astrid Chirurgie viscérale et digestive

LAVIGNE Géraldine Hématologie ; transfusion

LESAGE François-Xavier Médecine et Santé au Travail

MATHIEU Olivier Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie

MOUZAT Kévin Biochimie et biologie moléculaire

PANABIERES Catherine Biologie cellulaire

RAVEL Christophe Parasitologie et mycologie

SCHUSTER-BECK Iris      Physiologie  
 THEVENIN-RENE Céline      Immunologie

**MCU-PH de 2<sup>ème</sup> classe**

BARATEAU Lucie      Physiologie  
 BERGOUGNOUX Anne      Génétique  
 BOETTO Julien      Neurochirurgie  
 CHIRIAC Anca      Immunologie  
 DESHAYES Emmanuel      Biophysique et médecine nucléaire  
 DUFLOS Claire      Biostatistiques, informatique médicale et technologies de la communication  
 DU THANH Aurélie      Dermato-vénéréologie  
 ENGELMANN Ilka      Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière  
 FITENI Frédéric      Cancérologie ; radiothérapie  
 GATINOIS Vincent      Histologie, embryologie et cytogénétique  
 GOUZI Farès      Physiologie  
 HERBAUX Charles      Hématologie, transfusion  
 HUBERLANT Stéphanie      Gynécologie-obstétrique ; Gynécologie médicale  
 LEVEQUE Maude      Parasitologie et mycologie  
 MARIA Alexandre      Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie  
 PANTEL Alix      Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière  
 RANISAVELJEVIC Noémie      Biologie et médecine du développement et de la reproduction; Gynecologie médicale  
 ROUBILLE Camille      Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie  
 SOUCHE François-Régis      Chirurgie viscérale et digestive  
 SZABLEWSKY      Anatomie et cytologie pathologiques

**Maitres de Conférences des Universités**

**Maitres de Conférences hors classe**

BECAMEL Carine      Neurosciences  
 DELABY Constance      Biochimie et biologie moléculaire  
 MA MOUN Laurent      Sciences physico-chimiques et ingénierie appliquée à la santé

**Maîtres de Conférences de classe normale**

CHAUMONT-DUBEL Séverine	Sciences du médicament et des autres produits de santé
GUGLIELMI Laurence	Sciences biologiques fondamentales et cliniques
HENRY Laurent	Sciences biologiques fondamentales et cliniques
HERBET Guillaume	Neurosciences
HERVE ANDRE Emilie	
LADRET Véronique	Mathématiques appliquées et applications des mathématiques
LAINÉ Sébastien	Sciences du Médicament et autres produits de santé
LE GALLIC Lionel	Sciences du médicament et autres produits de santé
LOZZA Catherine	Sciences physico-chimiques et technologies pharmaceutiques
MORITZ-GASSER Sylvie	Neurosciences
MOUOTOT Gilles	Philosophie
PASSER EUX Emilie	Physiologie
RAMIREZ Jean-Marie	Histologie
RAYNAUD Fabrice	Sciences du Médicament et autres produits de santé
TAULAN Magali	Biologie Cellulaire

**Maîtres de Conférences des Universités - Médecine Générale**

**MCU-MG de 1<sup>re</sup> classe**

COSTA David  
OUDE ENGBER NK Agnès

**MCU-MG de 2<sup>ème</sup> classe**

FOLCO-LOGNOS Béatrice  
CARBONNEL François

**Maîtres de Conférences associés - Médecine Générale**

BADIN Mélanie  
CAMPAGNAC Jérôme  
LOPEZ Antonio  
MINET Mathilde  
PAVAGEAU Sylvain  
SERAYET Philippe

### Praticiens Hospitaliers Universitaires

CAZAUBON Yoann	Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie
DAGNEAUX Louis	Chirurgie orthopédique et traumatologique
GAVOTTO Arthur	Pédiatrie
GOULABCHAND Radjiv	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie
MIOT Stéphanie	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie
POULEN Gaetan	Neurochirurgie
ROCH Benoît	Pneumologie, addictologie
URSIC BEDOYA José	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie

**PH chargés d'enseignements**

ABOUKRAT Patrick	BRISOT Dominique	FAURE Elsa	MARTIN Lucille	SEGURET Fabienne
AGUILHON Sylvain	BRONER Jonathan	F LLERON Anne	MATTATIA Laurent	SENESE Pierre
AKKARI Mohamed	CA MMI Davide Paolo	F LLOLS Mélanie	MEROUEH Fadi	SERRE Jean-Emmanuel
ALRIC Jérôme	CARR Julie	FOURNIER Philippe	MEYER Pierre	SKALLI EI Medhi
AMEDRO Pascal	CARTIER César	GAILLARD Nicolas	MICHEL Moïse	SOLA Christelle
AMOUROUX Cyril	CASPER Thierry	GALMICHE Sophie	MILESI Christophe	SOULLIER Camille
ANTO NE Valéry	CASSINOTTO Christophe	GENY Christian	MORAU Estelle	SOUKSI MEDIONI Isabelle
ARQUIZAN Caroline	CATHALA Philippe	GERONIMI Laetitia	MORQUIN David	STOEBNER DELBARRE Anne
ATTAL N Vincent	CAZABAN Michel	G NIES Patrick	MOSER Camille	TEOT Luc
BADR Maliha	CHARBIT Jonathan	GRECO Frédéric	MOUSTY Eve	THIRION Marina
BAIS Céline	CHEVALLIER Thierry	GROSS N Delfine	MOUTERDE Gaël	TUNEZ Virginie
BARBAR Saber Davide	CHEVALLIER-MICHAUD Jos	GUEDJ Anne Marie	PERNIN Vincent	VACHIERY-LAHAYE Florence
BASSET Didier	COLIN Olivier	GUYON Gaël	PERRIGAULT Pierre François	VERNES Eric
BATIFOL Dominique	CONEJERO Ismael	HEDON Christophe	PEYRON Pierre-Antoine	VIALA Maurice
BATTISTELLA Pascal	CONSE L Mathieu	HENRY Vincent	PICARD Eric	VINCENT Laure
BAUCHET Luc	CORBEAU Catherine	JAMMET Patrick	PICOT Marie Christine	WAGNER Laurent
BELL Ariane	COROIAN Flavia-Oana	JEDRYKA François	POQUET Héléne	WALTHER LOUVIER Ulrike
BENEZECH Jean-Pierre	COUDRAY Sarah	JREIGE Riad	PUJOL Sarah-Lise	ZERKOWSKI Laetitia
BENNYS Karim	CUNTZ Danielle	KINNE Mélanie	PUPIER Florence	
BERNARD Nathalie	DARDALHON Brigitte	LABARIAS Coralie	QUANTIN Xavier	
BERTCHANSKY Ivan	DAVID Aurore	LABORDE Caroline	RAFFARD Laurence	
B BOULET Philippe	DE BOUTRAY Marie	LACAMBRE Mathieu	RAPIDO Francesca	
B RON-ANDREANI Christine	DE LA TRIBONNIÈRE Xavie	LANG Philippe	R BRAULT Alice	
BLANC Brigitte	DEBIEN Blaise	LAZERGES Cyril	RICHAUD-MOREL Brigitte	
BLANCHARD Sylvie	DELPONT Marion	LE GUILLOU Cédric	R DOLFO Jérôme	
BLANCHET Catherine	DENIS Héléne	LEGLISE Marie Suzanne	R PART Sylvie	
BLATIERE Véronique	DEVILLE de PER ERE Gilles	LE MO NE DONY Marie-Christine	RONGIERES Michel	
BOGE Gudrun	DI CASTRI Alberto	LETERTRE Simon	ROULET Agnès	
BOURRAIN Jean Luc	DJAN KIAN Flora	LOPEZ Régis	RUBENOVITCH Josh	
BOUYABR NE Hassan	FAIDHERBE Jacques	LUQU ENS Amandine	SANTONI Fannie	
BRINGER-DEUTSCH Sophie	FATTON Brigitte	MANZANERA Cyril	SASSO Milène	
BRINGUIER BRANCHEREAU Sophie	FAUCHERRE Vincent	MARGUERITTE Emmanuel	SCHULD NER Sophie	

« *Ce que l'on désire ardemment, constamment, on l'obtient toujours.* » Napoléon Bonaparte

« *La seule limite à la hauteur de vos réalisations est la portée de vos rêves et votre volonté de travailler dur pour les réaliser.* » Michelle Obama

# Remerciements

## Aux membres du jury :

*À Madame la Professeur Catherine CYTEVAL, présidente du jury* : c'est un honneur pour moi qu'une femme soit parmi les membres du jury, d'autant plus en tant que présidente. Je vous remercie pour votre investissement et votre disponibilité. Je suis heureuse d'avoir pu croiser votre route, vous représentez une source d'inspiration, de par votre bienveillance et votre générosité. Un grand merci.

*À Monsieur le Docteur Samuel MARAFFI, directeur de thèse et assesseur* : merci de m'avoir accompagné dans ce travail de longue haleine, d'avoir eu tant de souplesse et de rigueur pour ce compagnonnage. Notre premier appel m'a convaincu que nos échanges allaient m'apporter beaucoup dans mon travail de thèse et également dans ma pratique de la médecine. Merci d'avoir provoqué cette rencontre.

*À Monsieur le Docteur Daniel HIRT, directeur de thèse et assesseur* : merci de m'avoir accueilli dans ton cabinet à mes tout débuts, et de m'avoir fait confiance en acceptant d'être mon directeur de thèse. Merci de m'avoir transmis la pratique de la médecine du sport avec autant de passion. Je resterai toujours impressionnée par tes compétences extraordinaires que tu mets au service de tes patients. Tu resteras la première source d'inspiration de mon parcours dans la médecine du sport. Merci pour ta patience et ta pédagogie.

*À Monsieur le Docteur Paul REMY, assesseur* : merci d'avoir accepté de faire partie des membres de mon jury de thèse. J'ai passé un excellent stage de SASPAS à tes côtés. Toujours ouvert à la discussion, aux échanges concernant les prises en charge de tes patients. Je me prépare pour venir découvrir votre nouvelle MSP en vélo de route !

**Aux participants de cette études :** Merci d'avoir pris sur votre temps pour répondre au questionnaire et me permettre ainsi de mener au mieux ce travail de thèse.

**À la famille :**

*Paps*, je voulais te remercier pour avoir toujours cru en moi. Pour m'avoir aiguillé tous les jours de ma vie à la voile comme depuis mes débuts en médecine, et le reste de mes projets. Dans les bons et les moins bons moments et encore pour bien des années. Tu représentes pour nous, Élise Juliette et moi une force hors norme. Je suis très reconnaissante des valeurs que tu as réussi à nous transmettre. Le partage, les échanges, l'écoute, le travail, la rigueur, et le « no limit ».

*À mes sœurs, Élise et Juliette*, vous qui prenez une place importante dans ma vie. Je suis si fière d'être votre petite sœur. Je voulais vous remercier pour l'accompagnement infailible après toutes ces années, les week-end et vacances voile ainsi que mes années de médecine. Vous retrouver m'apporte toujours autant de plaisir, en France ou de l'autre côté de l'Atlantique. Merci Juliette d'avoir toujours été là pour faire l'arbitre entre Élise et moi. Et merci Élise de m'avoir appris la vraie bagarre.

***À mes petites étoiles,***

Maman, j'aurais tant aimé partager avec toi ces moments intenses et décisifs de ma vie. Mais je sais que tu es toujours à mes côtés, jamais très loin.

Mémé, ma petite Mémé, j'en ai des souvenirs qui me reviennent... Je suis tellement reconnaissante de tout ce que tu as fait pour nous. J'aurais été tellement fière que tu sois là en ce jour si particulier. C'est bien grâce à toi si j'en suis arrivée là aujourd'hui, en restant simple et naturelle. Je n'oublierai jamais les heures d'échanges avec Papa et toi le soir en rentrant de l'école. Merci pour tout.

*À mon Pioupiou, Victor*, merci de m'accompagner tous les jours dans les moments de joie et les épreuves. Ta présence à mes côtés me permet de toujours donner le meilleur de moi-même. Je te remercie d'être à l'écoute et de m'encourager. De savoir me redonner le sourire « chocolat ». Je suis fière de partager ces moments avec toi, une des grandes étapes de ma vie. Et aussi chanceuse que tu sois le roi du tableur Excel.

*À mes grands-parents*, merci pour tous ces moments de partages. Je n'oublierai jamais les mercredis après-midi crêpes bretonnes, les malabars, les briquettes de jus d'ananas, les tours en vélo dans la cour. J'espère vous rendre fiers, tout là-haut.

**À mes amis :**

*Jojo, Joséphine*, qui aurait pu imaginer cette demande 9 ans plus tard, non pas pour te demander de te mettre en coloc avec moi, ni même de t'annoncer par téléphone que j'ai eu ma P1, mais bien te demander de faire le voyage pour assister à ma soutenance de thèse à Montpellier. Partie en exil sur la « côte » du Sud, sans sweat à capuche, sans plaid, je ne t'ai pas vraiment quitté, tu es et restera toujours dans un coin de ma tête. \*vague\*

*Les minous, Mathilde, Chloé, Édouard, Maxime, Clem*, la vague de cops qui avance step by step. Je pense que c'est le moment de remercier officiellement Mathilde et Chloë pour les photocopies de mes cours de 4<sup>ème</sup> (et pas que) pendant que je partais en régata. Merci à Max Lemaitre d'avoir

été mon premier voisin de classe. Merci Édouard d'être resté simple, naturel et présent après nos années la tête dans les cahiers. J'espère que la photo annuelle pourra être faite encore pendant longtemps !

**Max et Pierre, le trio voile**, merci d'avoir été là pour faire le plein d'histoires à raconter. Des sandwiches nutella gruyère, aux feux d'artifices sur la plage de Boulogne, en passant par les heures d'entraînement, les écopés réutilisées pour événements inattendus. Le plein de souvenirs inoubliables.

**Arthur M.**, merci pour ces expériences de sport intenses, cette compétitivité, cette persévérance, cette bienveillance, ces taquineries. Merci d'avoir été mon partenaire de régates sans entraînement à base de powerade coca chips, en espérant pouvoir remettre ça bientôt.

**À mes amis du lycée Flore, Romane, Margot Du Tas**, je tenais à vous remercier d'avoir été présentes pendant ces 3 années, vous avez su me faciliter la vie scolaire/voile.

**Lef'**, pour les mercredis aprèm, pour le soutien P1, les questions du soir, la perfection Lef. Merci de m'avoir offert Félix qui me suit déjà depuis un petit moment. Bien que non bilingue, non intégrée au conservatoire, ni en spé math, merci d'avoir cru en moi, et de m'avoir accompagné et poussé.

**Les mamies de la team ghetto Camille, Cloud, Axoulette, Nibb, Ziez**, merci d'avoir ajouté des étoiles à cette formation. Il m'en faudrait des pages pour parler d'anecdotes. Je dirais donc Ghetto, miettes, codéine, Lens, piscine. Merci aussi d'avoir essayé de me transmettre votre passion télé-réalités et séries, bien que je ne sois jamais à la hauteur, et je m'excuse de souvent/toujours être un peu « en retard » de scoop.

**Margaux P.**, tête blonde, team mer, team Hardelot, team Islande, je suis ravie d'avoir pu partager ces si beaux moments avec toi avec la découverte des baleines. J'espère que nous pourrons en créer d'autres.

**Suzanne**, je suis ravie d'avoir croisé ta route de Mario lors de ce week-end d'inté. J'ai tout de suite compris que ce ne serait que le début de l'aventure.

**À mes co-internes de premier semestre, Juliette, Carla, Florentin, Alexis, Edouard B.**, merci d'avoir fait de cette période covid un moment plus agréable, et partagé. Je n'oublierai pas ces premiers moments dans la région à mes débuts d'internat loin de ma famille. Vous avez participé à construire les premiers souvenirs de ma nouvelle vie.

**À mes co-internes de Sète, Mira et Thomas**, merci d'avoir su mettre du soleil et du café dans le bureau de la Med A pendant ce semestre éprouvant !

**Merci à la coloc de Sète, Émeline et Arthur**, pour les rhums arrangés et les soirées soupes.

*Merci à mes 7 co-internes des urgences pédiatriques Anne, Clémence, Clément, Loïc, Cyril et Maud*, pour l'astuce du distributeur de petits pains, de m'avoir appris à faire des prises en charge d'urgentiste entourée de pédiatres bisounours.

*À mes co-internes d'inter-CHU, les Lyonnais, Amandine, Ophélie, Éléna et Thib*, merci d'avoir fait rayonner les urgences, d'être au top avec le smile tous les jours. Je suis bien loin de pouvoir oublier cette team de sportifs.

### **À ma belle famille**

*À Fabienne et Hervé*, merci de m'avoir accueilli et soutenu lors de ces années de médecine.

*À Mamie Jojo et Papy Yves*, merci pour ces petites attentions à chacun de nos passages dans le Nord. Même si malgré les dégustations, nous n'égalons sans doute jamais la réalisation des crêpes.

### **Aux médecins confrères et collègues :**

*À Céliénie et Aurore au sein de la MSP du Cirque Romain à Nîmes*, je vous remercie de m'avoir permis de découvrir une autre approche de la médecine, au sein d'une MSP bienveillante, un esprit collectif et une envie de grandir. Vous m'avez transmis votre rigueur et votre envie d'être aux côtés de vos patients quel que soit les moments de vie.

*À Sylvain J.*, merci de m'avoir accompagné dans ces premières consultations de médecine générale. Et également en tant que tuteur de stage, ce qui ne représentait pas la tâche la plus facile, nous y sommes arrivés.

*À Rémy Hurdie*, je suis ravie d'avoir pu découvrir à tes côtés les études sur le terrain. Ces étés UTMB m'ont permis de découvrir le monde de la recherche et je te remercie pour l'accompagnement de mon tout premier poster #sommeil #hallucinations.

*À Marie, Nina et Romain, mes co-internes du DU de Traumatologie du Sport à la Sorbonne*, je suis heureuse d'avoir pu croiser votre route. Merci de m'avoir accueilli au sein de votre groupe avec bienveillance. J'espère que les RCP médecine du sport continuerons encore bien longtemps !

## Liste des Abréviations

AMA : American Medical Association

AP : Aponévropathie Plantaire

BF : Biceps Fémoral

BSI : Bone Stress Injury

FF : Fracture de Fatigue

FP : Fasciite Plantaire

FFA : Fédération Française d'Athlétisme

FFT : Fédération Française de Triathlon

IAAF : International Association of Athletics

IC : Indice de Confiance

IJ : Ischios-jambiers

IMC : Indice de Masse Corporelle

INJEP : Institut National de la Jeunesse et de l'Éducation Populaire

Km : Kilomètre

MTP : Métatarso-Phalangienne

MTSS : Syndrome de Stress Tibial Médial

NSN : Nombre de Sujet Nécessaire

NU : Non Utilisateur

PC : Plaque Carbone

SM : Semi-Membraneux

ST : Semi-Tendineux

TA : Tendinopathie d'Achille

U : Utilisateur

VTC : Volume Total de Course à pied

## Table des matières

<b>I.</b>	<b>INTRODUCTION</b>	<b>23</b>
I.A.	COURSE A PIED ET COUREUR REGULIER.....	23
I.B.	BLESSURES DU MEMBRE INFERIEUR LIEES A LA COURSE A PIED .....	23
I.C.	FACTEURS DE RISQUES INTRINSEQUES ET EXTRINSEQUES.....	24
I.D.	CHAUSSURES A PLAQUE CARBONE.....	25
I.E.	RAPPELS SUR LA BIOMECHANIQUE DE COURSE.....	26
I.F.	EFFET BIOMECHANIQUE DE LA PLAQUE CARBONE .....	27
<b>II.</b>	<b>MATERIEL ET METHODE</b>	<b>29</b>
II.A.	CHOIX DU TYPE D'ETUDE .....	29
II.B.	POPULATION CIBLE .....	29
i.	Critères d'inclusion .....	29
ii.	Critères d'exclusion .....	29
iii.	Nombre de Sujets Nécessaires : Étude pilote.....	30
II.C.	QUESTIONNAIRE.....	30
i.	Questionnaire (Annexe 1).....	30
ii.	Diffusion du questionnaire via le flyer (Annexe 2) .....	31
II.D.	INFORMATIONS RECOLTEES.....	31
II.E.	ANALYSE STATISTIQUE DES DONNEES .....	31
II.F.	CRITERES DE JUGEMENT.....	32
i.	Critère de jugement principal.....	32
ii.	Critères de jugements secondaires .....	32
<b>III.</b>	<b>PRESENTATION DES RESULTATS</b>	<b>32</b>
III.A.	CARACTERISTIQUES DE LA POPULATION .....	33
III.B.	CARACTERISATION DE LA PRATIQUE DE LA COURSE A PIED DANS LA POPULATION .....	34
III.C.	CARACTERISATION DE L'UTILISATION DES CHAUSSURES DE COURSE A PIED.....	35
III.D.	CARACTERISATION DES FACTEURS DE RISQUE DE BLESSURES .....	36
III.E.	IMPACT DE LA CHAUSSURE A PLAQUE CARBONE .....	38
III.F.	ANALYSE EN SOUS-GROUPE, CHEZ LES UTILISATEURS ET NON UTILISATEURS DE LA CHAUSSURE A PLAQUE CARBONE.....	39
<b>IV.</b>	<b>DISCUSSION</b>	<b>41</b>
IV.A.	ÉTUDE.....	41
IV.B.	LIMITES ET BIAIS.....	41
i.	Biais de sélection .....	41
ii.	Biais de classement.....	42
iii.	Biais de confusion .....	42
IV.C.	FORCES DE L'ÉTUDE .....	43
IV.D.	RESULTATS :.....	43
i.	Caractéristiques de l'échantillon et de la pratique de la CAP .....	43
ii.	Répartition des utilisateurs en fonction des marques .....	46
iii.	Caractéristiques et ressentis d'utilisation de la chaussure plaque carbone .....	46
iv.	Caractérisation des types de blessures retrouvées.....	47
v.	Distribution des blessures chez les Utilisateurs (U) et les Non Utilisateurs (NU) .....	48
vi.	Observation en sous-groupe des caractères anthropométriques et du sexe chez les U et les NU .....	48
vii.	Typologie des blessures.....	49
viii.	Modalités de pratiques retrouvés chez les U et NU .....	50
ix.	Autres réflexions.....	51
<b>V.</b>	<b>PERSPECTIVES</b>	<b>51</b>
	<b>BIBLIOGRAPHIE :</b>	<b>54</b>
	<b>ANNEXES</b>	<b>58</b>
	<b>RESUME</b>	<b>67</b>

# I. Introduction

## I.A. Course à pied et coureur régulier

Au début de l'année 2020, l'Institut National de la Jeunesse et de l'Éducation Populaire (INJEP) affirmait que 38% des individus de plus de 15 ans déclaraient pratiquer une activité sportive au moins quatre fois par semaine. Au premier rang, la course à pied représentait l'activité la plus pratiquée, en raison notamment de son accessibilité (en tout lieu, en tout temps, à tous les âges, de la pratique débutante à la pratique confirmée) (1).

De plus, il est intéressant de noter que la course à pied a un impact important pour la promotion de la santé et notamment dans la prévention des maladies chroniques quels que soient le sexe, l'âge, le poids et l'état de santé. La course à pied est donc promue par tous les acteurs de santé qui entourent le patient (2).

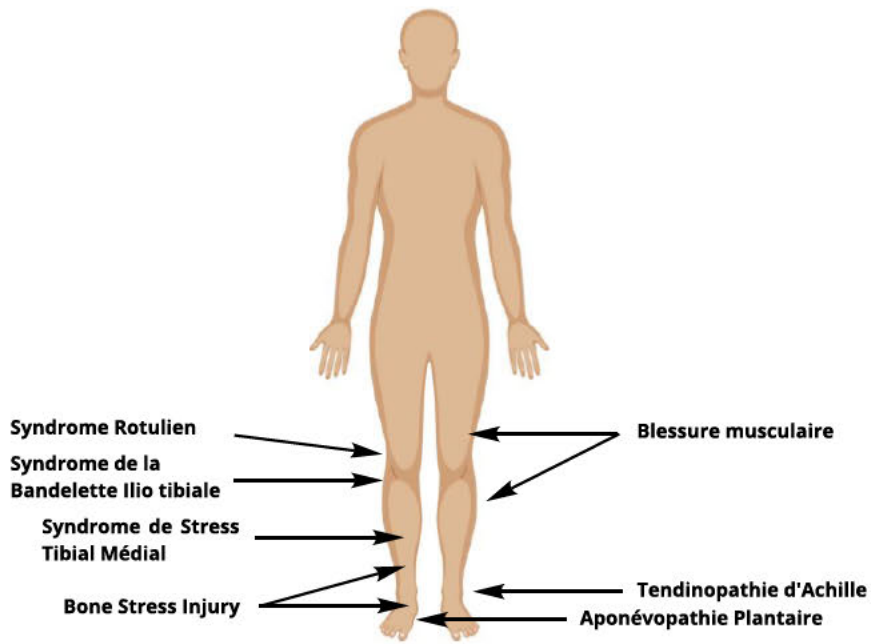
Cependant, un grand nombre de pathologies liées à la pratique de la course à pied est décrit dans la littérature. Il est donc enrichissant d'étudier les pathologies musculo-squelettiques des membres inférieurs en lien avec la modernisation des technologies notamment liée à la chaussure.

## I.B. Blessures du membre inférieur liées à la course à pied

Les blessures liées à la course à pied sont décrites en grand nombre parmi toutes les catégories de coureurs (niveau, terrain, expérience...). Selon la littérature, au cours d'une année, plus de 65% des pratiquants seront touchés par une pathologie en lien avec la pratique de la course à pied (3–5).

Accessibles aux diagnostics cliniques, les pathologies musculo-aponévro-tendineuses et osseuses des membres inférieurs liées à la course à pied sont engendrées par des causes extrinsèques d'origine mécanique tels que la gestion inadaptée des charges d'entraînement (et de récupération), l'utilisation de matériel inadéquat entraînant des technopathies (en course à pied, principalement la chaussure), le type de pratique et le terrain, les troubles métaboliques, les médicaments ou encore la déshydratation (6). À cela s'ajoutent les causes intrinsèques (sexe, âge, IMC, etc.).

Il semble donc important d'établir une définition de la blessure simple et claire pour les participants. Il s'agit ici de l'arrêt ou la forte réduction de la course sur une période minimale de 21 jours.



**Figure 1** : Schéma des pathologies du membre inférieur

### I.C. Facteurs de risque intrinsèques et extrinsèques

La blessure musculo-squelettique en course à pied est souvent d'origine multifactorielle. Néanmoins, on peut catégoriser l'origine extrinsèque ou intrinsèque des blessures selon les facteurs de risque.

Les principaux facteurs de risque intrinsèques des blessures des membres inférieurs retrouvés sont : les caractéristiques anthropométriques (IMC faible), une faible masse osseuse, une Inégalité de Longueur des Membres Inférieurs (ILMI), la statique du pied (creux, plat) et des genoux (valgus, varus), des raideurs musculo-tendineuses, des antécédents de premier épisode lésionnel, la biomécanique de la foulée, l'expérience et le niveau sportif ainsi que les déséquilibres musculaires (7–32).

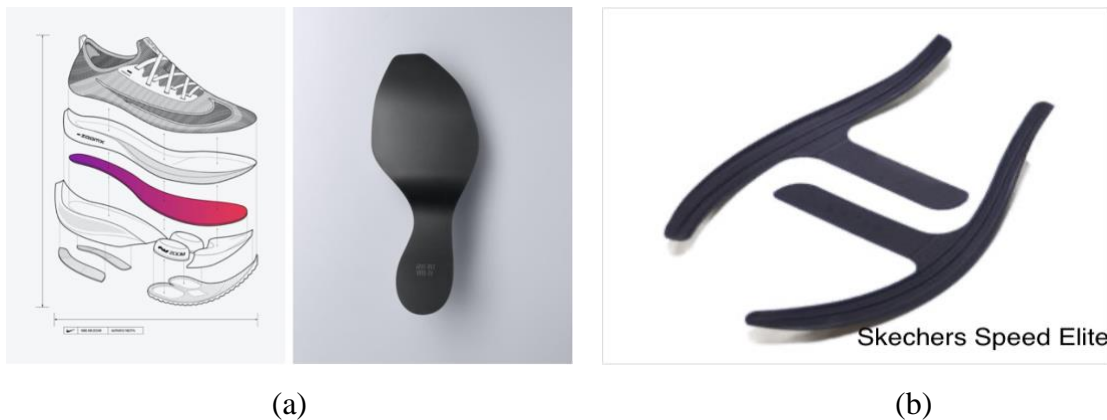
Les facteurs de risque extrinsèques retrouvés sont liés à : la mauvaise gestion de la charge d'entraînement et de sa planification-périodisation (charge globale regroupant les charges interne et externe), l'augmentation des rythmes de compétitions, la fatigue musculaire périphérique, mais aussi la fatigue centrale, la récupération inadaptée (absence de surcompensation, fatigue aiguë fonctionnelle, fatigue non fonctionnelle et surentraînement), le terrain de pratique (accidenté), l'utilisation du mauvais matériel (chaussure inadéquate, usure), la pratique de sports explosifs (9,11,14,15,30,33–37).

## I.D. Chaussures à plaque carbone

Depuis quelques années, nous observons une grande médiatisation de l'utilisation de chaussure de course à pied utilisant une technologie à base de matériaux en carbone, intégrée dans la semelle intermédiaire : la chaussure à plaque carbone.

Cette popularité médiatique est en lien avec la promotion et la réalisation de nombreux records d'athlètes (sub2 marathon, records du monde sur marathon homme et femme en 2023).

Cette plaque de carbone est aussi appelée lame ou tige carbone. D'autres modèles ont également été développés avec des lames fragmentées en plusieurs parties réparties au sein de la semelle. Il n'existe donc pas « une chaussure carbone » mais « plusieurs chaussures carbone ».



**Figure 2** : Plaques carbonées : intégrale (a), fragmentée (b)

Tiré de <https://wildlysmitten.com/chaussures-lame-carbone/> - 2021 (38) & [www.lacaveajaiife.fr](http://www.lacaveajaiife.fr) – 2020 (39)

Historiquement, le premier projet technologique avec cette chaussure dotée d'une plaque carbone fut celui de l'entreprise Nike avec la chaussure Vaporfly Elite. Ce projet a été réalisé pour tenter de s'emparer du record du monde sur le marathon. Cette performance a été réalisée le 12 octobre 2019 par le Kényan Eliud KIPCHOGE en 1 heure 59 minutes et 40 secondes, record non homologué par la World Athletics (39).

Aujourd'hui accessibles au grand public, avec plus d'une dizaine de modèles allant de 120 à 500 Euros, les chaussures plaque carbone font désormais partie intégrante du monde de la course à pied. Au sein de cette population de coureurs, nous notons un intérêt croissant pour les nouvelles technologies à la recherche de performance. En effet, en 2019, le journal The New York Times s'est intéressé aux temps de course sur marathon concernant le grand public et a mis en évidence un gain de vitesse de course de 2 à 3% imputé par de nombreux observateurs à l'utilisation de chaussures plaque carbone de par sa simple utilisation (40).

Depuis 2016, année d'apparition de la chaussure plaque carbone sur le marché, on note l'amélioration de tous les records du monde sur les distances allant du 5 kilomètres au marathon (41), comme en témoignent les récents records. D'une part, Assefa TIGIST d'origine éthiopienne, a réalisé le record féminin sur le marathon de Berlin 2023 en 2 heures 11 minutes et 53 secondes (chaussures : Adidas Adizero Adios Pro Evo 1, estimation prix grand public : 500 Euros environ). D'autre part, chez les hommes c'est Kelvin KIPTUM qui a réalisé le record officiel sur le marathon de Chicago 2023, en 2 heures et 35 sec, chaussant un prototype de la nouvelle Nike Alphafly 3.

Actuellement, la quasi-intégralité des marques de chaussures de course à pied proposent un modèle carbone, souvent étiqueté comme « haut de gamme » et le plus onéreux. Le modèle carbone s'est également développé dans la pratique du trail running, avec un modèle proposé par Nike depuis 2023, bien que le modèle carbone trail running existe depuis 2021 au sein de la firme Hoka One One (Modèle Tecton X).

La médiatisation, la recherche et le développement de ces modèles de plus en plus omniprésents orientent le marché « grand public » vers une démocratisation plus grande de l'utilisation de la chaussure à plaque carbone pour un public « non-élite ». Peu de données de prévalence de l'utilisation de ces chaussures existent encore à l'heure actuelle. Malgré tout, nous constatons effectivement une utilisation grandissante de ces chaussures.

Concernant la chaussure plaque carbone, sans adopter de position sur leur véracité, de nombreuses allégations y sont associées : amélioration de la performance, modification de la foulée, diminution de la difficulté de l'effort perçue et de douleurs, voir même pour certains une diminution des blessures.

### I.E. Rappels sur la biomécanique de course



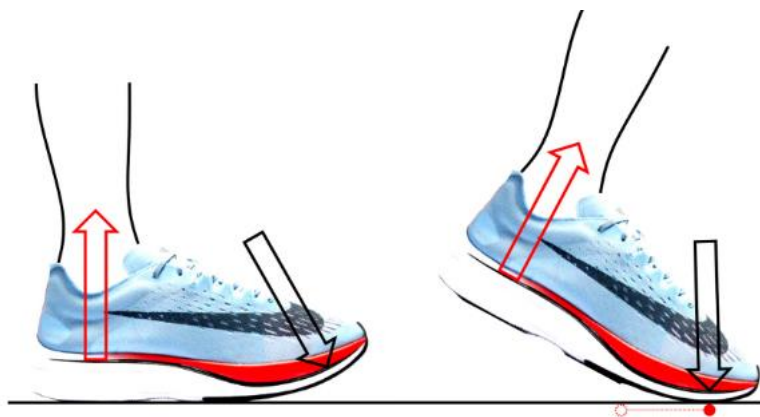
**Figure 3** : Biomécanique de la course à pied

Tiré de [passioncourseapiedetcordeasauter.blogspot.com](http://passioncourseapiedetcordeasauter.blogspot.com) – 2017 (43)

La biomécanique de course à pied correspond à une répétition de cycles eux-mêmes composés de plusieurs phases. Un cycle débute à l'impact initial d'un pied au sol et se termine lorsque ce même pied touche le sol à nouveau. Ainsi un cycle est composé de la succession de trois phases : la phase d'appui, la phase de suspension et la phase d'oscillation. Le rythme de ces cycles est caractérisé par la cadence de course qui correspond à un nombre de pas effectué dans un certain laps de temps (nombre de pas/minute). Avec une chaussure de course à pied standard, on note que la force de réaction verticale au sol est augmentée lorsque la cadence est diminuée et/ou la distance des foulées est augmentée (44,45).

#### I.F. Effet biomécanique de la plaque carbone

Selon Beck et al. l'ajout de plaques de fibre de carbone serait à l'origine d'un gain de rigidité longitudinale de la chaussure avec une augmentation du bras de levier de l'articulation de la cheville et de l'articulation métatarso-phalangienne associée à un déplacement antérieur de la force de réaction verticale au sol (46,47). Cependant aucun changement n'a été mis en évidence sur les articulations du genou et de la hanche (48). On note une diminution de la cadence, un allongement des foulées ainsi qu'une augmentation des impacts verticaux avec le sol (49).



**Figure 4** : Schéma de principe de l'effet Teeter-totter

Tiré de [www.lacaveajaiife.fr](http://www.lacaveajaiife.fr) – 2020 (50)

D'autre part, la plaque carbone au sein de la semelle intermédiaire est à l'origine d'un nouvel effet appelé « teeter-totter » ou effet « bascule » (Fig. 4). Cet effet est décrit d'un point de vue biomécanique par un déplacement antérieur de la force de réaction verticale au sol (extrémité antérieure de la plaque) lors de la deuxième moitié de la phase d'appui. La courbure de la plaque alors correctement conçue entraînerait une force de poussée réactionnelle au niveau du talon (perpendiculaire à la plaque) au bon moment de la phase de course (51).

L'utilisation de la chaussure plaque carbone serait donc à l'origine d'une économie de course par le stockage d'énergie dans la semelle intermédiaire et de l'effet bascule, bien que dépendant de certains critères intrinsèques du coureur (49,51,52).

La World Athletics (53,54) a dû réglementer la conception de cette technologie. À compter du 30 Avril 2020, certains critères doivent être respectés par les fabricants, tels que ;

- La semelle ne dépassant pas 25 mm d'épaisseur pour la course sur piste ( $\geq 800$  m), 40 mm d'épaisseur pour la course sur route.
- Aucune chaussure prototype ne peut être portée en compétition. La chaussure doit être commercialisée au grand public depuis au moins 4 mois.
- La semelle ne doit pas contenir plus d'une lame rigide (carbone ou autre matière) couvrant soit la longueur entière de la chaussure ou une partie. Elle peut comporter plusieurs parties de lames mais celles-ci ne doivent pas se chevaucher.
- Sous réserve du respect des mentions précédentes, la chaussure peut être personnalisée à des fins esthétiques ou médicales pour s'adapter au pied d'un athlète.

À ce jour nous ne disposons pas de description précise de pathologies en lien avec la chaussure plaque carbone. Cependant, nous notons un impact biomécanique en lien avec le port de cette chaussure variant selon l'individu (anatomie et biomécanique) (42,49).

Forts de ces constats (pratique grandissante de la course à pied, prévalence importante des blessures des membres inférieurs et utilisation démocratisée de chaussures à plaque carbone), nous nous sommes interrogés sur l'éventuelle existence de technopathies induites par ces chaussures. Pour cela, nous avons défini l'objectif principal de notre étude comme **l'évaluation de la prévalence des blessures des membres inférieurs liée à l'utilisation de la chaussure plaque carbone chez des coureurs réguliers en France sur les saisons 2021 et 2022.**

Secondairement, pour nourrir notre réflexion et ouvrir notre travail, nous avons choisi d'analyser la typologie de ces blessures du membre inférieur en lien avec l'utilisation ou non de chaussures plaque carbone. Nous avons fait le même travail en sous-groupe pour étudier d'autres facteurs de risques de blessures et les mettre en perspective avec l'utilisation ou non des chaussures à plaque carbone, à savoir l'ancienneté de pratique, le niveau, le sexe, certaines caractéristiques anthropométriques, etc.

## II. Matériel et méthode

### II.A. Choix du type d'étude

Étant donné notre objectif principal (étude de prévalence), nous avons choisi de réaliser une étude observationnelle, descriptive, transversale, rétrospective et multi-centrique sous forme d'étude pilote (55).

### II.B. Population cible

#### **i. Critères d'inclusion**

La population visée était des coureurs réguliers de tout niveau (loisir, compétitif amateur, compétitif élite). Pour rappel, nous définissons ici le fait de courir de manière régulière et intense par la réalisation de trente kilomètres ou plus par semaine, ce qui correspondrait à trois sorties d'une heure par semaine en moyenne.

Les participants devaient être âgés de 18 à 35 ans (afin de limiter l'impact de l'âge comme facteur intrinsèque de blessure).

Le groupe était composé de coureurs de sexe masculin et féminin quelle que soit leur biomécanique de course.

Les coureurs regroupaient de multiples disciplines (stade demi-fond, fond, hors stade demi-fond, hors stade fond, trail running, et des triathlètes) quels que soient leur charge d'entraînement et leur mode d'entraînement (sport croisé).

Ils pouvaient être ou non licenciés à la Fédération Française de Triathlon (FFTri) ou d'Athlétisme (FFA) et ayant eu accès à l'auto-questionnaire.

Pour chacun des individus, aucune différence n'a été faite entre les différentes plaques carbone, ni marques ou modèles, les matériaux mousse utilisés, leurs degrés d'usure, les caractères morphologiques de la chaussure, les pourcentages de volume d'utilisation, ni entre leurs modalités d'utilisation.

Nous avons inclus des coureurs blessés et non blessés, avec ou sans antécédent de blessures. Nous avons défini la blessure ici par l'arrêt ou la forte réduction de la course à pied sur une période minimale de 21 jours.

#### **ii. Critères d'exclusion**

Nous avons exclu les coureurs d'âge strictement supérieur à 35 ans et ne rentrant pas dans le cadre de nos critères d'inclusion.

### iii. Nombre de Sujets Nécessaires : Étude pilote

Puisque nous n'avons pas de prévalence de référence concernant les pathologies du membre inférieur en lien avec la chaussure plaque carbone et comme il s'agit d'une étude pilote, nous ne pouvons pas calculer le nombre de sujets nécessaires.

## II.C. Questionnaire

### i. Questionnaire (Annexe 1)

Le recueil de données s'est fait à l'aide d'un auto-questionnaire réalisé à l'aide de Microsoft Forms®. Il est composé de 26 questions (Annexe 1) entièrement rédigées en français.

Le questionnaire avait pour objectif de rester simple, compréhensible, sans ambiguïté et rapide à compléter. Il était standardisé pour l'ensemble des participants.

Le questionnaire a été soumis à des avis experts extérieurs (professionnels de santé et du sport)

Nous avons choisi de le constituer en 3 grandes parties :

- **La 1<sup>ère</sup> partie visait à analyser les caractéristiques socio-démographiques** de la population : sexe, âge, taille, poids, leur ancienneté dans la pratique, l'affiliation à une fédération française (athlétisme ou triathlon), la quantification des heures de course à pied hebdomadaire en moyenne, la pratique de la compétition et la distance de course, ainsi que la caractéristique de leur foulée.
- **La 2<sup>ème</sup> partie visait la caractérisation de l'utilisation de la chaussure plaque carbone** : le type et la marque utilisés, l'ancienneté de cette utilisation, le pourcentage moyen d'utilisation sur le volume total de course, la sensation de fatigue accrue / courbatures majorées aux MI post-course, la modification de l'entraînement liée à l'utilisation de la chaussure plaque carbone avec une augmentation du nombre de kilomètres mensuels.
- **La 3<sup>ème</sup> partie concernait les blessures musculo-squelettiques des membres inférieurs des participants sur les saisons 2021 et 2022** : présence ou non d'une blessure, typologie des blessures (musculo-aponévro-tendineuse, périoste, la fracture de fatigue, ou autre blessure). Concernant l'épisode, les participants devaient préciser s'il s'agissait d'une nouvelle blessure ou d'une récurrence, la date approximative, et la durée de la blessure (en nombre de jours).
- Pour finir, les coureurs avaient une partie de **rédaction libre** pour leurs remarques (chaussure, utilisation de la chaussure, sensation de fatigue...).

## **ii. Diffusion du questionnaire via le flyer (Annexe 2)**

Nous avons réalisé un support papier (flyer) avec un lien pour accéder à l'auto-questionnaire en ligne.

Ce questionnaire a été diffusé (version numérique) auprès d'athlètes (groupes d'entraînement, réseaux sociaux, et les clubs fédéraux, de triathlon et de course à pied), auprès de compétiteurs (épreuves de triathlon), auprès de professionnels de santé (médecins du sport, médecins généralistes, kinésithérapeutes du sport), auprès de revendeurs de matériel de course à pied.

Le recueil de données s'est fait à partir du 1<sup>er</sup> Décembre 2022 jusqu'au 31 Mai 2023.

### **II.D. Informations récoltées**

Le recueil, l'extraction et l'analyse des données ont été faits grâce au logiciel Excel® ce qui nous a permis de récolter les données des participants, de les maintenir confidentielles et anonymes. Elles seront sauvegardées sur un dispositif de stockage de données sécurisé par un mot de passe. Les données récoltées seront effacées en date du 1<sup>er</sup> Janvier 2025.

### **II.E. Analyse statistique des données**

Avec les données recueillies, nous avons répertorié les participants en ligne et les différentes catégories en colonnes.

Les colonnes sont les suivantes : numéro d'identification du participant, la nationalité, la licence (athlétisme/triathlon), l'âge, le sexe, la taille, l'IMC, le temps de pratique, le nombre de kilomètres hebdomadaires en moyenne, la catégorie de course en compétition (loisir, compétitif amateur, compétitif élite), catégorie de format de course (distance), la caractérisation de la foulée (attaque arrière pied, médio-pied, avant pied), l'utilisation ou non de la chaussure plaque carbone, les caractéristiques de la chaussure si utilisation de la chaussure plaque carbone, les différentes marques et types de chaussures plaques carbonées utilisées, la date de début d'utilisation de la chaussure plaque carbone, le pourcentage d'utilisation de la chaussure plaque carbone sur le Volume Total de Course à pied (VTC), si l'utilisation de la chaussure plaque carbone a oui ou non permis d'augmenter le nombre de kilomètres courus mensuels, si oui ou non une fatigue accrue était perçue, si lors des saisons 2021 et 2022 une blessure du membre inférieur a été notée, les blessures ont été détaillées (musculaire, tendineuse, aponévrose plantaire, blessure du périoste, fracture de fatigue, autre blessure), ainsi que les remarques des participants.

Dans un premier temps, nous avons calculé la prévalence correspondant à la proportion de participants ayant présenté le critère analysé dans la population concernée (56).

Nous définissons « p » la prévalence, « n » le nombre de participants ayant présenté le critère concerné et « N » le nombre total de participants respectant les critères d'inclusions.

$$p = n/N$$

Dans un deuxième temps, on a calculé les moyennes ( $\bar{x}$ ), les écarts types ( $\sigma$ ) avec leurs Intervalles de Confiance (IC) à 95%.

Avec  $x_i$  les valeurs, n le nombre de valeurs totales.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

$$IC = \pm 1,96 \sqrt{\left(\frac{pq}{N}\right)} \text{ où } q = 1-p$$

## II.F. Critères de jugement

### i. Critère de jugement principal

- Étudier de la prévalence des blessures chez les coureurs utilisateurs de la chaussure plaque carbone.

### ii. Critères de jugements secondaires

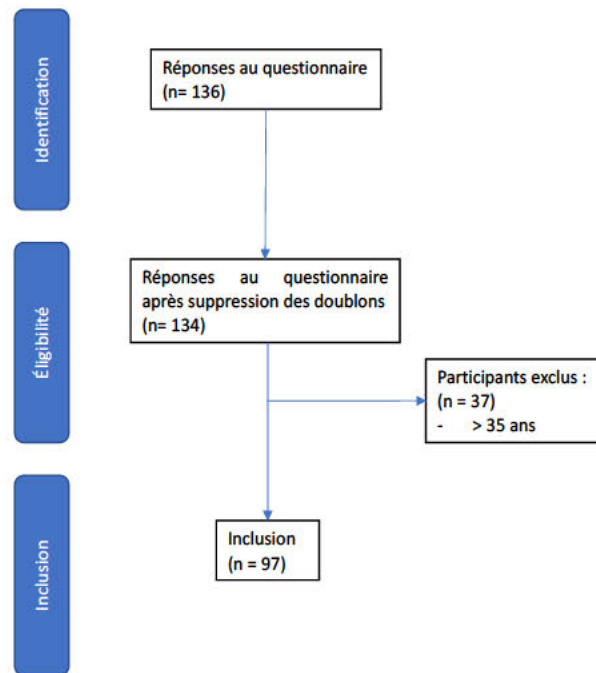
- Évaluer la proportion d'un type de blessures du membre inférieur en particulier chez les coureurs réguliers avec plaque ou sans utilisation de la plaque carbone.

- Définir des caractéristiques anthropométriques et de pratique des coureurs réguliers en fonction des blessures présentées avec l'utilisation et sans l'utilisation de la chaussure plaque carbone.

## III. Présentation des résultats

Pour rappel : l'étude ayant été réalisée sous forme d'une étude pilote, le nombre de sujets nécessaire n'a pas lieu d'être calculé.

### III.A. Caractéristiques de la population



**Figure 5** : Diagramme de flux

Nous avons récolté 136 réponses au questionnaire, dont 2 participations ont été détecté en doublon, nous les avons donc supprimées de l'analyse.

Ainsi, sur les 134 réponses au questionnaire qui ont été récoltées, 37 participants ont été exclus sur le critère de l'âge (> 35 ans). 97 participations ont pu être incluses et utilisées pour l'analyse.

**Tableau 1** : Caractérisation de l'échantillon

	n* (%)	Moyenne ( $\bar{x}$ )	Écart-type ( $\sigma$ )	IC* 95%	Médiane
Âge (année)	NA	28,5	4	[3,21-4,83]	28
Sexe					
Homme	56 (58)	NA	NA	NA	NA
Femme	41 (42)	NA	NA	NA	NA
Poids (kg)	NA	65,3	9,9	[7,9-11,89]	65
Taille (m)	NA	1,7	0,1	[0,06-0,1]	1,7
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	NA	21,7	2,5	[2-3,01]	21,5

\*n : prévalence, \*IC : Intervalle de confiance

Concernant les participants inclus (n=97), 56 hommes (58%) étaient représentés, pour 41 femmes (42%). La moyenne d'âge est estimée à 28,5 ans. Le poids moyen retrouvé est de 65,3kg, la taille moyenne est de 1,7 mètres pour un IMC moyen à 21,7 kg/m<sup>2</sup>.

Nous notons une valeur d'écart type plus grande en ce qui concerne le critère poids (9,9 kg, IC 95% [7,9-11,89]) (Tableau 1).

Pour le critère âge, nous retrouvons une médiane à 28 ans, une moyenne à 28,5 années, un écart type à 4 années et un Intervalle de Confiance à 95% entre 3,2 et 4,8 années.

### III.B. Caractérisation de la pratique de la course à pied dans la population

**Tableau 2 :** Caractérisation de la pratique de la course à pied

		Prévalence (n)	%	
Licencié	FFAthlétisme	16	16,5	
	FFTriathlon	21	21,6	
	FFA* et FFT*	4	4,1	
Durée de Pratique	< 3 ans	14	14,4	
	> 3 ans	83	85,6	
Foulée	Avant pied	18	18,6	
	Médio pied	48	49,5	
	Arrière pied	21	21,6	
	Ne sait pas	10	10,3	
Format de Course	Triathlon	XS	1	1
		S	7	7,2
		M	9	9,3
		L	4	4,1
		XL	0	NA
		XXL = IronMan ®	3	3,1
		Half IronMan ®	3	3,1
	Duathlon	Standard 5-10km*	4	4,1
	Sprint	100-200m	1	1,0
		400m	1	1,0
	Fond	5000m	11	11,3
		10000m	49	50,5
		Semi-Marathon 21.1km	46	47,4
		Marathon 42,195km	20	20,6
	Demi-Fond	800m	1	1
		1500m	2	2,1
		3000m	2	2,1
	Cross	Court 4km	0	NA
		Long Masculin 8,5km	0	NA
		Long Féminin 7km	0	NA
Trail	Découverte < 21km	4	4,1	
	Trail Court [21km-42km[	1	1,0	
	Trail [42km-80km[	1	1,0	
	Ultra Trail ≥ 80 km	7	7,2	
	Format non défini	4	4,1	

\*FFA : Fédération Française d'Athlétisme, \*FFT : Fédération Française de Triathlon, \*km : kilomètre

Dans la population incluse, nous observons que 16 % sont licenciés à la Fédération Française d’Athlétisme et que 22% sont licenciés à la Fédération Française de Triathlon. 86% des participants ont une pratique supérieure à 3 ans (86%).

Environ 50% des inclus déclarent avoir une foulée dite médio-pied, 21% une attaque arrière pied, 19% d’entre eux déclarent une attaque avant pied, et 10 % des participants ne savent pas.

En ce qui concerne la pratique en fonction des formats de course, la pratique du triathlon est courue de façon prédominante en format M (9 participants, représentant 9% des inclus). Le format de course à pied le plus représenté correspond à la pratique du Fond, avec 49 participants qui déclarent courir le 10 kilomètres, équivalent à la moitié de la population (51%), ainsi que le semi-marathon avec 46 personnes représentant 47% de la population.

Le format Trail Running est représenté surtout par le format Ultra-Trail ( $\geq$  80 kilomètres) 7 participants (7%) déclarent avoir cette pratique. Notons que 4 participants ont été classés en pratiquant du format Trail Running dans la catégorie format non défini. (Tableau 3)

### III.C. Caractérisation de l’utilisation des chaussures de course à pied

**Tableau 3** : Présentation des chaussures plaques carbonées utilisées

Marque	Type de chaussure	Prévalence (n)	Prévalence (%)
<b>ADIDAS</b>	Adidas Adizero Adios Pro 1, 2, 3	5	7,6
	Adidas Boston	2	3,0
	Adidas Takumi Sen 8	1	1,5
	Adidas - non définie	2	3,0
	<b>Tous modèles</b>	<b>10</b>	<b>15,1</b>
<b>ASICS</b>	MetaRacer	0	NA
	Asics METASPEED EDGE	0	NA
	Asics METASPEED SKY+	4	6,1
	ASICS - Non définie	3	4,5
	<b>Tous modèles</b>	<b>7</b>	<b>10,6</b>
<b>HOKA</b>	Hoka Carbone X, X 2, X 3	2	3,0
	Hoka non définie	0	NA
<b>NEW BALANCE</b>	New Balance FuelCell SuperComp Elite v3	1	1,5
	New Balance - Non définie	0	NA
<b>NIKE</b>	Nike ZoomX Alphafly NEXT%	1	1,5
	Nike Air Zoom Tempo NEXT%	2	3,0
	NIKE - Vaporfly Next % 1, 2, 3, 4	22	33,3
	NIKE - Performance Zoom Fly 3, 4, 5	5	7,6
	Nike – Non définie	3	4,5
	<b>Tous modèles</b>	<b>33</b>	<b>50</b>

<b>ON RUNNING</b>	On-Running Cloudboom Echo	2	3,0
<b>PUMA</b>	Puma Deviate NITRO	0	NA
	Puma Deviate Nitro Elite Racer	1	1,5
	Puma FAST R Nitro Elite Carbon	0	NA
	Puma Non définie	0	NA
<b>SAUCONY</b>	SAUCONY - Endorphine Pro 1, 2, 3	6	9,1
	SAUCONY – Non définie	0	NA
<b>Nombre total de chaussures</b>		<b>66</b>	
<b>Nombre total d'utilisateurs</b>		<b>43</b>	

Nous mettons en évidence dans notre population 43 utilisateurs de la chaussure à plaque carbone. Parmi les sujets déclarants cette modalité de pratique, 66 paires de chaussures à plaque carbone ont été déclarées (Tableau 3).

Concernant les marques les plus représentées, NIKE occupe la première place avec 33 modèles dont un tiers est représenté par le modèle Vaporfly Next % de la version 1 à 4 (n=22). Vient ensuite la marque ADIDAS, avec 10 paires de chaussures à plaque carbone (15%), représentées notamment par le modèle Adizero Adios Pro version 1 à 3. Dans un troisième temps, ASICS est représentée à environ 11% (n=7), avec le modèle Metaspeed Sky+.

SAUCONY est représentée par le modèle Endorphine Pro 1,2 et 3, avec 6 paires mentionnées, représentant 9% des chaussures à plaque carbone.

La marque HOKA est représentée avec la Hoka Carbone X à X3 avec 2 paires de chaussures décrites (3%).

ON RUNNING avec son modèle On-Running Cloudboom Echo comptabilise 2 paires représentant 3% des chaussures décrites chez nos participants.

NEW BALANCE avec ses New Balance FuelCell SuperComp Elite v3 ainsi que PUMA avec le modèle Puma Deviate Nitro Elite Racer ont été citées 1 fois représentant chacun 1% des chaussures à plaque carbone de notre étude.

### III.D. Caractérisation des facteurs de risque de blessures

**Tableau 4 :** Caractérisation de l'utilisation de la chaussure plaque carbone

		Prévalence (n)	Prévalence (%)
Ancienneté d'utilisation (mois)	]0-2]	1	2,3
	]2-6]	4	9,3
	]6-12]	16	37,2
	> 12	22	51,1

Pourcentage (%) d'utilisation sur le Volume	]0-25]	35	81,4
Total de Course (VTC) à pied	]25-50]	5	11,6
	]50-75]	1	2,3
	]75-100]	2	4,6
	Augmentation du nombre de km mensuel	11	25,6
Modification de l'entraînement lié à l'utilisation de la chaussure plaque carbone		43	
Nombre total d'utilisateurs		43	

D'après le tableau 4, concernant l'ancienneté d'utilisation de la chaussure à plaque carbone, la moitié des participants (51%) présente une utilisation de plus de 12 mois. On note que 16 participants déclarent une ancienneté d'utilisation de la chaussure à plaque carbone entre 6 et 12 mois (37%), 4 participants entre 2 et 6 mois (9%) et seulement 1 participant présente une ancienneté entre 0 et 2 mois.

Le pourcentage d'utilisation de la chaussure à plaque carbone sur le Volume Total de Course à pied (VTC) situé entre 0 et 25% est la catégorie la plus représentée et concerne 35 individus (81%), 5 participants (23%) indiquent utiliser la chaussure à plaque carbone entre 25 et 50% de leur VTC. Seulement 1 participant l'utilise entre 50 et 75% du VTC. 2 participants utilisent la chaussure à plaque carbone entre 75 et 100% de leur VTC.

D'autre part, 11 participants (26%) décrivent une augmentation du nombre de kilomètres mensuels depuis qu'ils utilisent la chaussure à plaque carbone.

**Tableau 5** : Ressenti en lien avec l'utilisation de la chaussure plaque carbone

	Oui n (%)	Absence de symptôme décrit n (%)
Sensation de fatigue accrue / courbatures majorées aux MI	6 (13,9)	37 (86,1)

\*MI : Membre Inférieur

On compte 6 des utilisateurs (14%) qui déclarent une sensation de fatigue accrue/courbatures majorée lors de l'utilisation de la chaussure à plaque carbone. 86% des coureurs avec la chaussure plaque carbone ne déclarent par ces symptômes (Tableau 5).

**Tableau 6** : Caractérisation des types blessures chez les coureurs réguliers

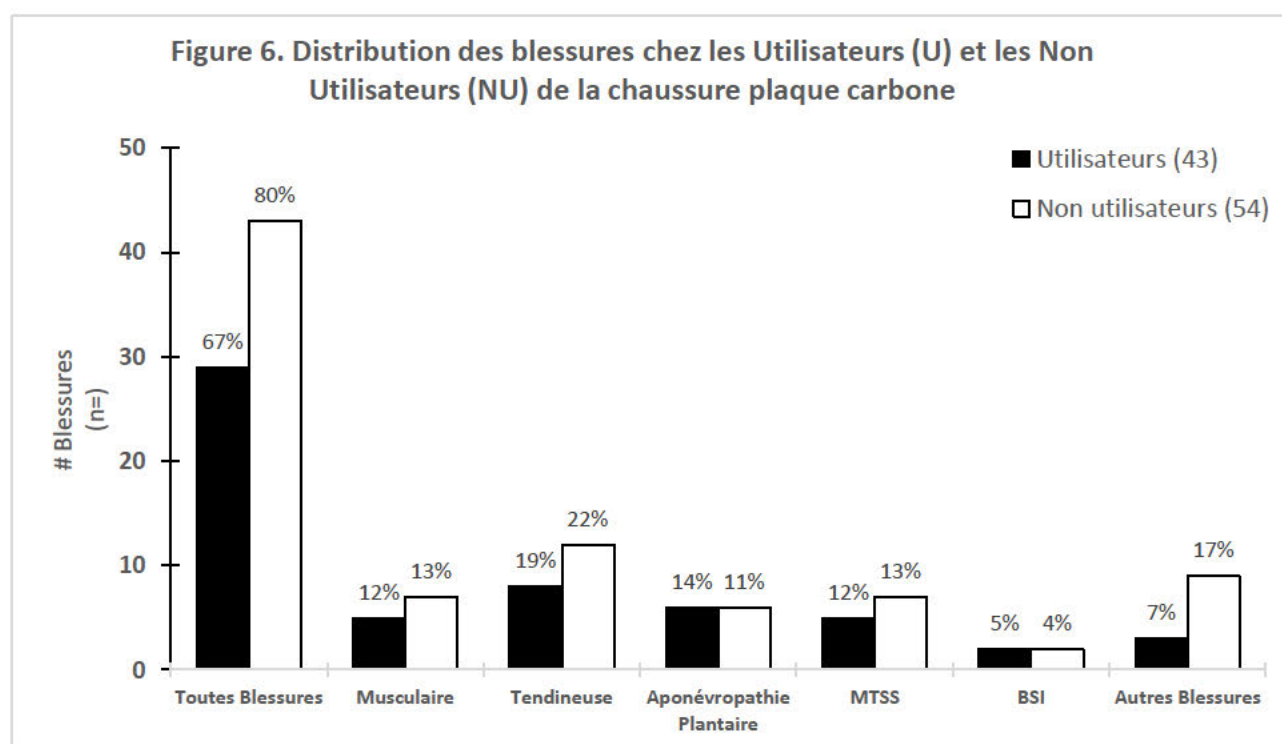
	Prévalence (n)	Prévalence (%)
Tendineuse (D*/G*, nouvelle ou récidive)	20	27,8
Pathologie du périoste (D/G, nouvelle ou récidive)	12	16,7
Aponévropathie plantaire (D/G, nouvelle ou récidive)	12	16,7
Musculaire MI* (D/G, nouvelle ou récidive)	12	16,7

Autres Blessures MI (D/G, nouvelle ou récidive)	12	16,7
Osseuse / Fracture de Fatigue (D/G, nouvelle ou récidive)	4	5,6
<b>Total des Blessures du MI</b>	<b>72</b>	

\*MI : Membre Inférieur, \*D : Droit, \*G : Gauche

Chez les coureurs réguliers 97 participants et 72 blessures du/des membre(s) inférieur(s) ont été décrites. Parmi celles-ci, la blessure tendineuse est la plus représentée avec 20 cas (28%). Ensuite, la blessure musculaire, l'aponévropathie plantaire, le MTSS, et les « autres blessures » sont représentées pour chacune par 12 cas (17%). Les pathologies osseuses sont retrouvées à hauteur de 6% soit 4 cas.

### III.E. Impact de la chaussure à plaque carbone



\*n : prévalence, \*BSI : Bone Stress Injury, \*MTSS : Syndrome de Stress Tibial Médial

Le pourcentage des blessures a été indiqué sur le graphique, du fait de l'inégalité des deux groupes. Dans notre étude, nous retrouvons 43 Utilisateurs (U) de la chaussure à plaque carbone et 54 non utilisateurs (NU).

La catégorie « toutes les blessures » décrite est représentée à 67% chez les U et 80% chez les NU.

Les blessures musculaires sont retrouvées pour 12 % chez les U contre 13% chez les NU

Les blessures tendineuses sont représentées pour 19% chez les U contre 22% chez les NU.

L'Aponévropathie Plantaire (AP) est retrouvée pour 14% pour les U et pour 11% pour les NU.

Les BSI sont décrites pour 5% dans le groupe U et 4% dans le groupe NU.

Enfin, la catégorie « autres blessures » est décrite pour 7% chez les U et 17% chez les NU.

### III.F. Analyse en sous-groupe, chez les utilisateurs et non utilisateurs de la chaussure à plaque carbone

**Tableau 7 :** Analyse en sous-groupe des caractères anthropométriques et du sexe des utilisateurs (U) et non utilisateurs (NU) de la chaussure plaque carbone

	<u>Homme</u>		<u>Femme</u>		<u>Âge moyen (années)</u>		<u>IMC moyen (kg/m<sup>2</sup>)</u>	
	U (%)	NU (%)	U (%)	NU (%)	U	NU	U	NU
	33	23	10	31	28,5	28,6		
<b>Blessure Musculaire</b>	3 (9)	4 (17)	2 (20)	3 (10)	26,6	29,7	22,1	21,4
<b>Blessure Tendineuse</b>	7 (21)	6 (26)	1 (10)	6 (19)	28,5	27,5	21,5	20,5
<b>Aponévropathie Plantaire</b>	4 (12)	6 (26)	2 (20)	0 (NA)	27,7	27,0	20,9	21,9
<b>MTSS</b>	4 (12)	3 (13)	1 (10)	4 (13)	24,8	27,7	21,3	23,2
<b>BSI</b>	1 (3)	0 (NA)	1 (10)	2 (6)	33,5	28,5	20,7	22,4
<b>Autres blessures</b>	3 (9)	4 (17)	0 (NA)	5 (16)	27,7	29,0	21,1	20,9
<b>Prévalence des blessures</b>	22 (66,6)	23 (100)	7 (70)	20 (64,5)				
<b>Moyenne</b>	3,7	3,8	1,17	3,3				

\*BSI : Bone Stress Injury, \*MTSS : Syndrome de Stress Tibial Médial

Chez les hommes, le groupe U est plus nombreux (n=33) que les NU (n=23), on constate une prévalence des blessures avec chez les U (n=22) et les NU (n=23). Chez les U nous notons que les blessures tendineuses sont les plus représentées (21%).

Chez les hommes NU, deux blessures sont décrites à hauteur de 26%, il s'agit de la blessure tendineuse et de l'Aponévropathie Plantaire.

Chez les hommes Utilisateurs, la moyenne des blessures est calculée à 3,7 blessures contre 3,8 chez les Non Utilisateurs.

Les femmes Utilisatrices de la chaussure plaque carbone décrivent 7 blessures au total contre 20 chez les NU.

Chez les Utilisatrices, la blessure musculaire et l'aponévropathie plantaire sont au nombre de 2 soit 20%. Pour les NU la blessure musculaire est retrouvée à 3 reprises correspondant à 10%, et l'AP n'est pas décrite (n=0).

Chez les Non Utilisatrices ce sont les blessures tendineuses qui sont les plus nombreuses (n=6), soit 19% contre 1 (10%) chez les U.

La moyenne des blessures chez les femmes est de 3,3 chez les Non Utilisatrices contre 1,2 chez les Utilisatrices.

L'âge moyen des blessures musculaires est de 26,6 ans chez les U et de 29,7 ans chez les NU.

Le MTSS est retrouvé en moyenne à 24,8 ans chez les U contre 27,7 ans chez les NU.

La BSI est présente à un âge moyen de 33,5 ans chez les U contre 28,5 ans chez les NU.

Les « autres blessures » sont présentes en moyenne à 27,7 ans chez les U contre 29 ans chez les NU.

L'IMC moyen dans le MTSS chez les U 21,3 kg/m<sup>2</sup> et 23,2 kg/m<sup>2</sup> chez les NU. L'IMC moyen retrouvé dans les BSI est de 20,69 kg/m<sup>2</sup> chez les U contre 22,4 kg/m<sup>2</sup> chez les NU.

**Tableau 8 : Observation en sous-groupe des différentes modalités de pratique de la course à pied chez les Utilisateurs et les Non Utilisateurs de la chaussure plaque carbone**

	Pratique < 3 ans		Pratique > 3 ans		Loisirs		Compétiteurs Amateurs		Compétiteurs Élites	
	U (%)	NU (%)	U (%)	NU (%)	U (%)	NU (%)	U (%)	NU (%)	U (%)	NU (%)
	3 (3)	11 (11)	40 (41)	43 (44)	34 (35)	36 (37)	1 (1)	16 (16)	8 (8)	2 (2)
<b>Blessure Musculaire</b>	2 (67)	2 (18)	3 (8)	5 (12)	3 (9)	6 (17)	0 (NA)	0 (NA)	2 (25)	1 (50)
<b>Blessure Tendineuse</b>	2 (67)	5 (45)	6 (15)	7 (16)	6 (18)	9 (25)	0 (NA)	2 (13)	2 (25)	1 (50)
<b>Aponévropathie Plantaire</b>	0 (NA)	4 (36)	6 (15)	2 (5)	5 (15)	4 (11)	0 (NA)	2 (13)	1 (13)	0 (NA)
<b>MTSS</b>	1 (33)	2 (18)	4 (10)	5 (12)	3 (9)	5 (14)	0 (NA)	2 (13)	2 (25)	0 (NA)
<b>BSI</b>	1 (33)	0 (NA)	1 (3)	2 (5)	2 (6)	1 (3)	0 (NA)	1 (6)	0 (NA)	0 (NA)
<b>Autres blessures</b>	0 (NA)	0 (NA)	3 (8)	9 (21)	3 (9)	5 (14)	0 (NA)	3 (19)	0 (NA)	1 (50)

\* BSI : Bone Stress Injury, \*MTSS : Syndrome de Stress Tibial Médial

Concernant la pratique de la course à pied et les blessures, la majorité des participants pratiquait depuis plus de 3 ans qu'ils soient U (41%) ou NU (44%).

Chez les participants de moins de 3 ans et Utilisateurs, on note que les blessures musculaires et tendineuses sont présentes à 67% chacune. Chez les NU, la blessure musculaire est la blessure la plus représentée (n=5 soit 45%).

Dans le groupe pratiquant depuis plus de 3 ans, chez les U la blessure tendineuse et l'AP sont représentées chacune à 15% (n=6), puis suit le MTSS (n=4 soit 10%). Chez les NU, la majorité des blessures est « autres » (21%), se trouve ensuite la blessure tendineuse (16%), blessure musculaire et le MTSS décrits à 5 reprises soit 12%.

Les pratiquants « Loisirs » avec chaussures à plaque carbone (n= 34) présentent des blessures tendineuses à hauteur de 18%, puis l'AP est décrite à 5 reprises (15%). Chez les NU (n=36), la majorité présente des blessures tendineuses (25%).

Dans la catégorie « compétiteurs amateurs » et Utilisateur soit seulement 1 participant et il n'a pas présenté de blessures. Chez les Amateurs et NU (n=16), la catégorie « autres blessures » est prépondérante (19%), puis la blessure tendineuse, l'AP et le MTSS sont décrits à 2 reprises chacun (13%).

Les « Élites » représentés par 8 Utilisateurs ont décrit la blessure musculaire, la blessure tendineuse et le MTSS à 25% chacun. Chez les NU Élites, se trouvaient 2 participants, ils ont décrit une blessure musculaire, une tendineuse et une blessure « autres ».

## IV. Discussion

### IV.A. Étude

Notre travail avait pour objectif principal d'étudier la prévalence des blessures des membres inférieurs chez les Utilisateurs et les Non Utilisateurs de la chaussure plaque carbone. Nous avons choisi d'explorer notre population en groupe et en sous-groupes, selon plusieurs paramètres (ex : les caractéristiques anthropométriques, l'ancienneté de pratique, ...) qui sont des facteurs confondants notables de risque de blessures, mais qui nécessiteraient cependant d'autres travaux ultérieurs de méthodologie plus précise pour affiner la puissance statistique.

D'autre part, le design choisi pour notre travail (à savoir : une étude observationnelle descriptive transversale rétrospective), ne nous permet pas méthodologiquement de réaliser d'analyse statistique (p-value non calculée) ni en groupe, ni en sous-groupe. Nous n'avons pas la possibilité de réaliser des comparaisons ni d'établir des liens statistiques de risque relatif de blessures en lien avec les différents paramètres mesurés.

En prenant en compte ce design ainsi que les biais de sélection, de classement et de confusion (cf. IV. B Limites et biais), notre étude possède donc des validités internes et externes modestes.

### IV.B. Limites et biais

#### **i. Biais de sélection**

Nous avons recueilli 97 questionnaires qui validaient les critères d'inclusion.

Les modalités de renseignement de notre questionnaire nous exposent au biais de volontariat.

Le temps de récolte a été réalisé sur une courte période allant du 1<sup>er</sup> Décembre 2022 jusqu'au 31 Mai 2023, limitant ainsi le nombre de participants et la représentativité de notre échantillon.

S'agissant d'un questionnaire rempli sur volonté propre des participants, l'échantillon n'est donc pas représentatif de la population générale. En effet, on peut supposer que des coureurs se sentant moins concernés et/ou non blessés n'ont sans doute pas pris le temps de s'intéresser et de répondre à notre questionnaire.

La diffusion du questionnaire s'est faite majoritairement par les réseaux sociaux, nécessitant un accès virtuel au questionnaire, représentant un facteur limitant pour les personnes ne possédant pas ces moyens.

La population est large et inclut des coureurs d'horizons différents (coureurs, triathlètes et trailers) ce qui altère également la représentativité de cette dernière.

D'autre part, nous savons que la chaussure plaque carbone est un matériel qui a un certain coût et qui subit une rapide dégradation (matériaux fragiles). Cette particularité financière fait que l'usage est limité aux coureurs avec un niveau socio-économique élevé (non analysé dans cette étude).

Enfin, seuls les coureurs francophones et géographiquement localisés en France ont répondu, ce qui ne permet pas une représentation des coureurs à l'échelle mondiale.

## **ii. Biais de classement**

Le caractère déclaratif et rétrospectif des réponses via cet auto-questionnaire crée certains biais de mémorisation ainsi qu'un biais de déclaration par l'erreur de diagnostic. Ces caractéristiques entraînent également, un biais de renseignement, notamment par la terminologie utilisée par les participants non experts puisque le diagnostic pouvait être ou ne pas être réalisé par un professionnel de santé.

Nous avons rencontré un biais de mesure du fait du caractère déclaratif des réponses.

## **iii. Biais de confusion**

L'inclusion sur base du volontariat ne nous a pas permis de créer des groupes qui étaient comparables. La population décrite n'a pas été soumise ni à l'ajustement ni à l'appariement.

Aussi, les réponses déclaratives ne nous permettent pas de différencier l'origine de la blessure liée à la biomécanique de course de l'individu, son entraînement (manière très précise), à l'utilisation de la chaussure en elle-même, son usure ou encore à d'autres facteurs.

Ainsi tous ces facteurs de risques de blessures énoncés dans la première partie (I. Introduction) peuvent entraîner pour chacun d'entre eux un biais de confusion.

Les caractéristiques technologiques du carbone (division de la plaque carbone, épaisseur, rigidité...) et technologies associées de la chaussure (semelle intermédiaire, semelle extérieure, drop, stack de la chaussure...) sont aussi des facteurs de confusion notables.

En ce qui concerne les analyses en sous-groupe, nous faisons face à une perte de comparabilité, bien qu'intéressant intellectuellement, elles entraînent un autre biais potentiel de confusion.

#### IV.C. Forces de l'étude

Malgré les limites et biais de notre travail on s'accordera sur le fait que cette dernière possède quelques qualités, qui en font sa force :

- Aucun autre travail de méthodologie similaire n'a été réalisé à notre connaissance.
- Les seules données de la littérature qui mettent en perspective les blessures et l'utilisation de chaussure à plaque carbone sont des études de cas.
- Il s'agit d'un premier travail, même s'il reste sommaire et imprécis, qui prend aussi en compte quelques paramètres externes à la chaussure PC, mais pertinents dans l'analyse des facteurs de risques de blessures (charge d'entraînement, ancienneté, sexe, âge, pratique et discipline, distance de compétition).
- Le recrutement de 97 participants est discutable sur le plan de la puissance statistique de notre travail mais peut se lire sous un angle intéressant : à savoir que la démographie des utilisateurs de chaussure à PC reste faible au regard des utilisateurs d'autres chaussures sans cette technologie. Les utilisateurs devraient augmenter dans les années à venir avec la démocratisation de ces technologies, et probablement une amélioration de l'accès à ces produits.
- L'analyse d'une population dite « hétérogène » nous semble intéressante, car elle aurait tendance à représenter ce que réalisent les coureurs de nos jours en ce qui concerne l'entraînement (sports croisés, portés, ...) (57).

#### IV.D. Résultats :

##### **i. Caractéristiques de l'échantillon et de la pratique de la CAP**

Notre échantillon présente une moyenne d'âge de 28,5 ans, ce qui ne reflète qu'une partie de la population des coureurs. En effet, la course à pied est prônée dans notre société pour prévenir les facteurs de risques cardio-vasculaires et pour lutter contre la sédentarité, ainsi elle est pratiquée chez les enfants, étudiants, jeunes actifs et également les retraités.

Une des explications vient sûrement du fait que nous avons volontairement appliqué comme critère d'exclusion l'âge supérieur à 35 ans pour limiter l'ajout d'autres facteurs confondants liés à l'âge (modifications biomécaniques de course à pied et altération physiologiques liées à l'âge par exemple) (58,59).

Bien que l'âge moyen retrouvé soit jeune, la plupart de nos participants sont des coureurs expérimentés : 83 d'entre eux (86%) déclarent une pratique supérieure à 3 ans.

Les hommes représentaient une part plus importante des participants. Cette sur-représentation masculine est retrouvée dans la plupart des études scientifiques. Cette donnée nous questionne sur la possibilité d'existence d'un choix prépondérant de chaussures avec plaques de carbone chez les hommes comparativement aux femmes. Nous n'avons pas retrouvé cette donnée épidémiologique dans la littérature. Pour s'affranchir de ce phénomène de genre, nous aurions pu réaliser un appariement des groupes.

Selon l'OMS, l'IMC retrouvé dans notre échantillon (21,7 kg/m<sup>2</sup>) correspond à un poids dit « normal ». Cette constatation ne permet pas d'extrapoler nos résultats chez des sportifs aux IMC extrêmes, en supposant que ces derniers soient des facteurs de risques surajoutés de blessures. Il serait intéressant d'étudier l'impact de l'utilisation de chaussures à plaque de carbone sur les blessures chez une population en surpoids ou obèse.

Concernant la biomécanique de course à pied, notre questionnaire s'est juste intéressé au paramètre « foot strike pattern » ou « type d'attaque du pied au sol » répertorié par le pratiquant lui-même. On note que cette approche est réductrice, et qu'il aurait été plus juste d'avoir d'autres paramètres associés (Duty factor, cadence, ...). De plus, l'auto renseignement par l'athlète de son « type d'attaque au sol » est très imprécis et peu représentatif. Une analyse biomécanique en laboratoire ou sur le terrain aurait été plus précise, mais cette méthodologie n'était pas accessible dans notre étude.

Néanmoins, toutes les sortes d'attaque en course à pied sont déclarées dans notre échantillon ; arrière, médio et avant pied.

Nous avons fait le choix de ne pas s'étendre sur l'expression des résultats sur ce paramètre étant donné l'imprécision notable de notre enquête biomécanique via ce questionnaire.

Il est intéressant de voir que bon nombre des participants ont déclaré plusieurs types de pratiques combinées parmi la course à pied, le trail running, et le triathlon.

Dans ces pratiques, les pathologies ne sont évidemment pas similaires. Ceci est expliqué notamment par la répartition de leurs charges globales d'entraînement (surtout via le ratio sport porté – sport non porté), et les caractéristiques différentes de pratiques (terrain, conditions, altitude, ...).

Néanmoins, bien que les triathlètes réalisent un entraînement croisé, la littérature relate que les pathologies sont majoritairement présentes pendant la pratique de la course à pied avec bien évidemment la notion que la pratique de la course, du vélo ainsi que de la natation sont représentées par la notion de stress cumulatif (60,61). Le principal facteur de risque de blessures dans cette population reste l'augmentation brutale du volume horaire ou de la charge de travail (62,63).

Dans notre population, il était donc attendu que les distances intermédiaires soient les plus représentées, du fait qu'elles soient plus facilement accessibles au grand public.

Dans la pratique du trail running, la charge d'entraînement est appréciée par deux composantes : la charge externe, la dimension physique et mécanique de l'exercice imposé (kilomètre effort = distance (km) + (D+ (m) /100)) et la charge interne (la réponse biologique à l'exercice) (64,65).

Nous constatons ici que les trailers, sont pour majorité comptés sur les formats Ultra (supérieur à 80 kilomètres), très sollicitant d'un point de vue de cette charge globale.

Chez le coureur à pied route et piste, l'évaluation de la charge externe d'entraînement se fait habituellement en kilomètres hebdomadaires. Même s'il semblerait qu'il ne soit pas le meilleur indicateur de la charge globale cumulée (66,67).

Ici, la majorité des participants pratique les formats de course sur route (fond). Cela nous amène à supposer l'impact marketing de l'utilisation de la chaussure avec plaque carbone. En effet, cette dernière est définie pour une utilisation sur « longue distance », au-delà des distances de type « demi-fond ». Cette utilisation explique probablement les résultats mis en évidence lors de notre étude.

Pour simplifier notre analyse, le questionnaire aurait pu utiliser une classification des formats de course à pied avec les catégories telles que U20, U23, Séniors... Concernant les triathlètes, les formats de course auraient été ; S, L, XL, XXL, IronMan ® et Half-IronMan ®.

Pour les trailers, nous avons fait le choix du reclassement selon l'ancienne classification de course hors stade afin de faciliter l'exploitation des données et faire face aux informations manquantes sur le dénivelé (68).

## **ii. Répartition des utilisateurs en fonction des marques**

Au moment où nous réalisons l'étude, 9 marques de chaussures ont sorti sur le marché un ou plusieurs modèles dotés de plaque carbone. Nous constatons le phénomène de démocratisation de ces chaussures, malgré son prix.

Qui plus est, nous comptons sur les 97 participants, 43 utilisateurs de cette technologie avec au total 66 paires de chaussures à plaque carbone décrites. Les participants possèdent donc, parfois plusieurs paires de chaussure dotées de plaque de carbone.

D'autre part, comme vue en première partie, la marque Nike fut préceuseure de cette technologie, avec son modèle Vaporfly. Quelques années plus tard, nous constatons que la marque reste majoritairement représentée à hauteur de 50% sur tout modèle confondu dont 33% représentés pour leur modèle Vaporfly.

On compte 17 modèles décrits dans cette étude, sachant que le marché évolue chaque mois en proposant de plus en plus de modèles. Nous mettons donc en évidence qu'il existe autant de technologies différentes que de modèles proposés, rendant les analyses scientifiques plus délicates.

## **iii. Caractéristiques et ressentis d'utilisation de la chaussure plaque carbone**

La majorité de l'échantillon utilisent la plaque carbone (PC) depuis plus de 12 mois, confirmant les aspects « expert et connaisseur » du marché des technologies de la course à pied par nos participants.

Néanmoins, 81% des utilisateurs déclarent se servir de cette chaussure PC au maximum pour 25% de leur Volume Total de Course à pied. Ceci représente peu de temps de pratique, et un temps d'adaptation pré course qui semble faible (ou plus long). Cette donnée nous interpelle sur le fait qu'il est difficile d'extrapoler un risque de blessure uniquement induit par les chaussures PC au regard de leur faible ratio d'utilisation.

Seulement 13,9% des utilisateurs décrivent une sensation de fatigue accrue/courbatures majorée aux membres inférieurs, contre 86% qui ne décrivent pas ces symptômes.

Par contre, la modification de l'entraînement par l'augmentation du nombre de kilomètres mensuels est décrite pour un quart d'entre eux.

On peut supposer que, bien qu'elle ne soit utilisée que très peu sur le VTC, la chaussure PC permette en parallèle pour une partie (25%) une majoration de l'entraînement avec des chaussures non dotées de plaque carbone. Mais nous ne pouvons pas dissocier l'origine comportementale de cette hausse du kilométrage mensuel.

#### **iv. Caractérisation des types de blessures retrouvées**

Dans notre étude, la définition de la blessure avait été bien précisée dans le questionnaire, s'agissant de l'arrêt ou la forte réduction de la course sur une période minimale de 21 jours.

Concernant la blessure, il est difficile de s'appuyer sur la littérature pour trouver une définition en terme de répercussion dans la pratique de la course à pied et dans la vie quotidienne. En effet, la blessure est décrite dans les études comme un diagnostic réalisé lors d'une consultation médicale. Cependant dans notre étude, les participants pouvaient déclarer des blessures sans avoir eu de diagnostic réalisé par un professionnel de santé (69). D'autre part, nous n'avons pas pu rapporter de nombre de blessures par heure de pratique à cause de la méthodologie de notre questionnaire.

Nous aurions pu détailler plus précisément les types de blessures, mais nous ne serions confrontés à la complexité du questionnaire, et donc à la perte potentielle de participants.

En ce qui concerne les résultats de notre étude et leur confrontation aux données retrouvées dans la littérature scientifique.

Les études montrent que les blessures tendineuses et ligamentaires représentent 50% des blessures des coureurs (70). Il n'est donc pas étonnant de retrouver les blessures tendineuses en première position dans notre travail, représentant 27,8% des blessures décrites. Cependant pour affiner ces proportions, nous aurions pu étayer cette catégorie avec les différentes tendinopathies (d'Achille, Rotulienne...).

Le MTSS a été retrouvé avec une prévalence de 16,67%, qui est une prévalence plus élevée que dans la littérature (7,8-11,1%).

Pour l'AP, elle est retrouvée chez nos coureurs pour 16,7%, d'après Lopez la prévalence de cette pathologie peut aller jusqu'à 17,5% (71).

La blessure musculaire est décrite dans les études entre 10 et 55% chez les sportifs. Nous la décrivons dans notre étude à hauteur de 16,7% (72). La difficulté étant, pour les athlètes, d'avoir une précision diagnostique : en effet, on peut supposer que les localisations tendineuses musculaires ou encore aponévrotiques soient une source de confusion.

La prévalence des BSI est retrouvée pour 6% des blessures, ce qui paraît être semblable à ce que nous pouvons retrouver dans la littérature récente (2022) chez une population de jeunes sportifs (73).

Ainsi seul le MTSS est représenté avec une prévalence supérieure à ce qui peut être retrouvée dans la littérature. Cela nous amène à nous poser la question de l'impact de l'utilisation de la chaussure PC sur cette sur-représentation dans notre étude.

#### **v. Distribution des blessures chez les Utilisateurs (U) et les Non Utilisateurs (NU)**

L'intérêt intellectuel de notre travail était aussi d'observer la distribution des blessures chez les Utilisateurs et les Non Utilisateurs de la chaussure à plaque carbone.

Certains de nos résultats montrent que le nombre de blessures des NU (rapporté au nombre total de participants NU) serait plus important que celui des Utilisateurs de la chaussure à plaque carbone.

En effet, concernant toutes les blessures, les Utilisateurs ont déclaré 29 blessures (soit 67% des utilisateurs), contre 43 blessures rapportées chez les NU (80% d'entre eux).

Au-delà des nombreux facteurs confondants, et de la méthodologie critiquable de notre travail, ce phénomène pourrait être expliqué par, notamment de meilleures connaissances de l'entraînement et des technologies pour les utilisateurs de chaussures PC, ou par le fait d'une meilleure préparation globale (renforcement musculaire, pliométrie, entraînement croisé), une charge d'entraînement mieux répartie avec une mise en charge progressive. On peut néanmoins se poser la question de la technologie des chaussures à plaque carbone pouvant être à l'origine d'un effet protecteur.

#### **vi. Observation en sous-groupe des caractères anthropométriques et du sexe chez les U et les NU**

Chez les femmes, nous notons une prévalence plus élevée de blessures toutes confondues chez les Non Utilisatrices (n=20) de chaussures à plaque carbone cela comparé aux Utilisatrices (n=7). Ceci pourrait rendre compte d'un intérêt plus présent pour la course à pied chez les U et donc de meilleures connaissances sur les moyens de prévention des blessures.

Concernant l'effet genre sur la prévalence des blessures, sans toutefois omettre la qualité méthodologique de notre étude qui ne nous permet pas d'émettre de conclusion significative et sous réserve de petits groupes de comparaison, nous pouvons décrire des tendances.

Chez les hommes, le fait d'être Utilisateurs pourrait être un facteur protecteur de blessures, avec un ratio de NU/U estimé à 1,5%. Au contraire, pour le genre féminin, selon les déclarations de nos participantes, ce sont les NU qui seraient moins à risque de blessures, avec un ratio calculé à 0,92%. On pourrait alors se poser la question d'un effet protecteur masculin vs féminin, ou d'une meilleure adaptation biomécanique chez les hommes que chez les femmes.

Il est intéressant de décrire 3 BSI chez les femmes contre 1 seule chez les hommes, le sexe féminin est un facteur de risque connu (73).

### **vii. Typologie des blessures**

Dans notre étude, la blessure type « musculaire » est rapportée à hauteur de 12% chez les Utilisateurs contre 13% chez les Non Utilisateurs. Notre étude ne permet pas d'observer de différence ni d'effectuer une analyse de cause à effet sur l'impact de la chaussures de PC sur la lésion musculaire. Néanmoins, nous sommes amenés à penser que l'utilisation de chaussure PC ne semble pas changer le pronostic musculaire du sportif.

Les blessures tendineuses sont retrouvées à hauteur de 19% chez les Utilisateurs contre 22% chez les Non Utilisateurs. Cependant il reste difficile de trouver des éléments de comparaison. En effet, la littérature décrit des blessures tendineuses bien spécifiques et détaillées par localisation (pathologie de la bandelette ilio tibiale, tendinopathie d'Achille, tendinopathie rotulienne...). Que nous n'avons volontairement pas détaillé ici, afin de ne pas complexifier notre auto-questionnaire. À l'image des blessures musculaires, nos résultats ne démontrent pas de différences majeures entre les utilisateurs et non-utilisateurs de chaussures à PC. Nous nous attendions à en observer une, étant donné les modifications induites par l'utilisation de la chaussure à PC, et la prévalence fréquente des tendinopathies. D'autres études plus précises et de méthodologie plus puissante seraient utiles pour la compréhension de ces résultats.

L'AP est retrouvée chez les U hommes à hauteur de 4 participants (soit 12%), et chez 6 NU (soit 25%). Comme décrit dans notre introduction, une des caractéristiques mise en avant concernant la plaque carbone est sa capacité à limiter la perte d'énergie au niveau de l'articulation MTP. On imagine donc un effet réel au niveau du pied et de l'AP, en rapport avec une augmentation de la contrainte dans cette structure plantaire. Dans notre étude, nous ne montrons donc pas de tendance de différence liée à l'utilisation de chaussures PC. L'échantillon des victimes d'une pathologie de l'AP étant très faible et notre méthodologie étant inadaptée à l'utilisation de comparaison et de significativité, il est complexe d'avoir une interprétation extrapolable de ces chiffres.

Nous nous attendions à retrouver une majoration des pathologies de l'AP en lien avec la chaussure plaque carbone, en sachant que les structures autour de la cheville ont tendances à être plus sollicitées que les structures autour du genou et de la hanche (46).

Pour le MTSS, aucune tendance U vs NU n'est à noter dans notre travail, il est décrit à 5 reprises chez les utilisateurs soit 12%, contre 7 chez les NU soit 13%.

Cependant, dans l'analyse en sous-groupe, nous pouvons voir un IMC moyen inférieur chez les Utilisateurs (21,35kg/m<sup>2</sup>) comparé aux NU (23,18kg/m<sup>2</sup>). L'IMC moyen des MTSS retrouvé dans la littérature est de 24,4kg/m<sup>2</sup> chez les hommes (74).

Ceci pourrait être expliqué par le fait que les athlètes aux IMC plus importants recherchaient l'effet de la PC et donc de l'impact sur le MI comparé aux utilisateurs aux IMC plus faibles.

Il est intéressant de noter que le MTSS est retrouvé chez les U avec un âge moyen de 24,70 ans contre 27,71 ans chez les NU.

On sait que la chaussure plaque carbone augmente les impacts verticaux avec le sol et allonge la foulée (48). Cependant, nous n'avons pas retrouvé d'étude montrant un lien de causalité entre l'utilisation de la chaussure plaque carbone (allongement des foulées et force de réaction au sol augmentée) et le MTSS.

Concernant les BSI, il en est de même que pour le MTSS, nous ne notons pas de tendance chez les U/NU. Elles sont décrites à 2 reprises chez les utilisateurs soit 5%, et sont aussi décrites à 2 reprises dans le groupe non utilisateurs représentant 4%.

Cependant nous observons un IMC inférieur chez les U que les NU. L'IMC bas correspond à un facteur de risque connu de BSI (75).

D'autres part, nous notons dans la description de cette pathologie un âge moyen plus élevé chez les Utilisateurs (33,5 ans) que chez les NU (28,5 ans). Nous nous serions attendus à un âge moyen des BSI plus jeune que les NU au vu des répercussions biomécaniques. Dans les descriptions des participants, nous retrouvons des fractures de fatigue du bassin.

Dans notre étude nous notons chez les Utilisateurs un IMC moyen à 20,69 kg/m<sup>2</sup> et chez les non utilisateurs un IMC moyen plus élevé à 22,41kg/m<sup>2</sup>, ce qui est retrouvé dans l'étude réalisée par Taunton, qui note comme facteur de risque du BSI un IMC élevé.

### **viii. Modalités de pratiques retrouvés chez les U et NU**

Ici, nous avons réalisé une répartition des coureurs en fonction de leur pratique, par catégorie « loisir », « compétiteur amateur » et « compétiteur élite ».

Dans la littérature, le coureur novice est défini par une pratique inférieure ou égale à un an. Nous avons dans notre étude défini de manière arbitraire les trois années de pratique afin d'établir une distinction entre les coureurs expérimenté et novice.

Cependant, nous n'avons pas réalisé de groupes par état de leur vitesse de course à pied, de leurs paramètres physiologiques (capacité aérobie, ...), ni sur des critères de performance objectifs.

## **ix. Autres réflexions**

Bien conscients de la limitation de notre travail, nous restons prudents sur l'interprétation de l'impact des chaussures à PC sur les blessures, dans le sens où les chaussures de course à pied ne se limitent pas à cette simple technologie. De plus, d'autres paramètres industriels de la chaussure et les variations notables entre les différentes marques peuvent aussi induire un biais de confusion (mousse et densité de la semelle intermédiaire, flexibilité, poids technologies de contrôle de mouvements, renforts, contreforts, laçage, drop et stack, ...). Les différentes formes de plaque carbone sont aussi des facteurs confusionnels notables. On conviendra alors qu'il n'existe pas « une » chaussure avec PC mais « des » chaussures avec PC.

Bien que, selon Kong et al. le coureur s'adapterait à l'usure de la chaussure en adaptant sa biomécanique pour assurer une charge externe qui resterait la même. Cette étude ne comportait pas d'analyses sur la chaussure à plaque carbone (76).

Ainsi, selon Oh et Park, la rigidité en flexion longitudinale de la chaussure devrait être adaptée selon la rigidité de l'articulation MTP du coureur (77). Ainsi chaque coureur devrait adopter une chaussure avec une rigidité propre à sa biomécanique (78).

## **V. Perspectives**

En conclusion, notre travail, malgré ces nombreux biais méthodologiques et ces limites, nous permet d'observer de probables impacts de l'utilisation de la chaussure à PC sur la santé musculo-squelettique des membres inférieurs de coureurs à pied. Notre étude ne permet pas de démontrer d'augmentation ou de diminution de blessures des MI en lien avec l'utilisation de la PC.

Ce travail ouvre des perspectives nombreuses, en commençant par l'intérêt de refaire une étude similaire en augmentant sa puissance (via une méthodologie analytique ou expérimentale, un appariement et ajustement en fonction de tous les facteurs de risques de blessures notables de la littérature, une augmentation de la taille de l'échantillon et des analyses plus précises en sous-groupe).

En guise d'ouverture et de travaux ultérieurs, notre travail nous amène aussi à nous poser ces nombreuses questions :

- Sachant qu'il existe des différences biomécaniques, tissulaires et d'entraînement en fonction des ethnies : quel est l'impact de l'ethnie et de l'origine géographique sur la blessure et/ou la performance induite par l'utilisation de la chaussure à PC ?
- L'utilisation de la chaussure PC augmente-t-elle ou réduit-elle les pathologies spécifiques du pied ? (hyperkératose, onychoméadèse, pathologie unguéale traumatique, déformation hallux ou quintus...)
- En sachant les vitesses de course en discipline de trail sont plus lentes comparativement à la course sur route, quel est l'impact de l'utilisation de chaussure PC dans cette discipline ? (économie de course, diminution des pathologies de la voute plantaire, distance très longue, caractéristiques du sol et son hétérogénéité, stabilité confort)
- Sachant que la littérature semble exposer des « bons » et des « mauvais » répondeurs (en terme de performance) à la chaussure PC en fonction de la vitesse de course : qu'en est-il concernant la prévalence des pathologies du MI (pied et cheville) chez le coureur régulier avec la chaussure PC en fonction des différentes vitesses de course.
- Quel est l'impact de la chaussure PC sur les blessures des MI dans les populations plus jeunes et plus âgées ?
- Quel est l'impact de la chaussure PC sur les blessures des MI en fonction des caractéristiques biomécanique de course à pied de chaque individu ?
- Quel est l'impact de l'usure des chaussures à PC sur la prévalence des blessures ? Mais aussi sur la performance ?
- Existe-t-il un effet placebo de la présence de la plaque carbone intégrée aux chaussures de course à pied ? Ou existe-t'il un effet nocebo chez les personnes qui n'utilisent pas de chaussures à PC ?
- Quel est l'impact des différentes formes de lame de carbone sur la prévalence des blessures ?
- Quel est l'impact de l'utilisation des chaussures à PC sur les blessures en dehors des membres inférieurs ? (Bassin, rachis lombaires, ...)

- Quel est le rapport « coût-efficacité sur la prévention des blessures » des chaussures à PC comparativement à des chaussures qui n'en contiennent pas ?
- Quel type de comportement alimentaire pourrait être retrouvé chez les coureurs blessés porteurs de la chaussure plaque carbone ?
- Existe-t-il un lien entre oligoménorrhée/spanioménorrhée et les blessures du membre inférieur chez les coureuses portant la chaussure plaque carbone ?
- Existe-t-il un impact des connaissances personnelles de l'entraînement, des technologies et des connaissances médicales sur les blessures chez les coureurs réguliers blessés et non blessés ?

## Bibliographie :

1. INJEP. Les Chiffres Clefs Sport [Internet]. 2020 [cité 26 janv 2022]. Disponible sur: <https://injep.fr/wp-content/uploads/2020/11/Chiffres-cles-sport-2020.pdf>
2. Lee D chul, Brellenthin AG, Thompson PD, Sui X, Lee IM, Lavie CJ. Running as a Key Lifestyle Medicine for Longevity. *Prog Cardiovasc Dis.* juill 2017;60(1):45-55.
3. 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.* août 2015;45(8):1143-61.
4. Mihalko S. Severity of Overuse Injury Impacts Self-Efficacy and Quality of Life in Runners: A 2-Year Prospective Cohort Study. *J Sport Rehabil.* mai 2021;
5. Winter SC, Gordon S, Brice SM, Lindsay D, Barrs S. A Multifactorial Approach to Overuse Running Injuries: A 1-Year Prospective Study. *Sports Health Multidiscip Approach.* mai 2020;12(3):296-303.
6. Gremion G, Zufferey P. Tendinopathies du sportif : étiologie, diagnostic et traitement. :6.
7. Edwin S. W. Stress Fractures. *RSNA.* mars 1969;92(3):481.
8. Coste O, Marblé C. Médecine du triathlon. Elsevier Health Sciences. 160 p.
9. Paavola M. Achilles tendinopathy. *J Bone Joint Surg Am [Internet].* [cité 1 déc 2022]; Disponible sur: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12429771/>
10. Lareau CR, Sawyer GA, Wang JH, DiGiovanni CW. Plantar and Medial Heel Pain: Diagnosis and Management. *J Am Acad Orthop Surg.* juin 2014;22(6):372-80.
11. Cantonné Y, Khiami F, Depiesse F. Traumatologie en pratique sportive. Elsevier Masson. 2021.
12. Fields KB, Rigby MD. Muscular Calf Injuries in Runners. *Curr Sports Med Rep.* sept 2016;15(5):320-4.
13. Benca E, Listabarth S, Flock FKJ, Pablik E, Fischer C, Walzer SM, et al. Analysis of Running-Related Injuries: The Vienna Study. *J Clin Med.* 6 févr 2020;9(2):438.
14. Warden SJ, Davis IS, Fredericson M. Management and Prevention of Bone Stress Injuries in Long-Distance Runners. *J Orthop Sports Phys Ther.* oct 2014;44(10):749-65.
15. Warden SJ, Burr DB, Brukner PD. Stress fractures: Pathophysiology, epidemiology, and risk factors. :7.
16. Sharma P, Maffulli N. Biology of tendon injury: healing, modeling and remodeling. :10.
17. Rees JD, Wilson AM, Wolman RL. Current concepts in the management of tendon disorders. *Rheumatology.* 1 mai 2006;45(5):508-21.
18. Kaux JF, Crielaard JM. Tendon et tendinopathie. *J Traumatol Sport.* déc 2014;31(4):235-40.
19. Reinking M. Tendinopathy in athletes. *Phys Ther Sport.* févr 2012;13(1):3-10.
20. Abrahams Y, Laguette MJ, Prince S, Collins M. Polymorphisms within the *COL5A1* 3'-UTR That Alters mRNA Structure and the *MIR608* Gene are Associated with Achilles Tendinopathy: *COL5A1* 3'-UTR and Achilles tendinopathy. *Ann Hum Genet.* mai 2013;77(3):204-14.
21. Wang JHC. Mechanobiology of tendon. *J Biomech.* janv 2006;39(9):1563-82.
22. van der Vlist AC, Breda SJ, Oei EHG, Verhaar JAN, de Vos RJ. Clinical risk factors for Achilles tendinopathy: a systematic review. *Br J Sports Med.* nov 2019;53(21):1352-61.
23. Goff JD. Diagnosis and Treatment of Plantar Fasciitis. 2011;84(6):7.
24. Injuries in Runners A prospective Study of Alignment.pdf.
25. Edouard P, Branco P, Alonso JM. Muscle injury is the principal injury type and hamstring muscle injury is the first injury diagnosis during top-level international athletics championships between 2007 and 2015. *Br J Sports Med.* mai 2016;50(10):619-30.
26. Fields KB. Running Injuries V Changing Trends and Demographics. 2011;10(5).

27. Prior M, Guerin M, Grimmer K. An Evidence-Based Approach to Hamstring Strain Injury: A Systematic Review of the Literature. *Sports Health Multidiscip Approach*. janv 2009;1(2):154-64.
28. Woods C. The Football Association Medical Research Programme: an audit of injuries in professional football—analysis of hamstring injuries. *Br J Sports Med*. 11 févr 2003;
29. Delvaux F, Kaux JF, Croisier JL. Les lésions musculaires des membres inférieurs : facteurs de risque et stratégies préventives. *Sci Sports*. sept 2017;32(4):179-90.
30. Mucha MD, Caldwell W, Schlueter EL, Walters C, Hassen A. Hip abductor strength and lower extremity running related injury in distance runners: A systematic review. *J Sci Med Sport*. avr 2017;20(4):349-55.
31. Jouffriault J. Mise au point sur la tendinopathie calcanéenne d'insertion. *J Traumatol Sport*. juin 2017;34(2):130-50.
32. Francis P, Whatman C, Sheerin K, Hume P, Johnson MI. The Proportion of Lower Limb Running Injuries by Gender, Anatomical Location and Specific Pathology: A Systematic Review. :11.
33. Lemont H, Ammirati KM, Usen N. A Degenerative Process (Fasciosis) Without Inflammation. *J Am Podiatr Med Assoc*. 2003;93(3):4.
34. Thomas JL, Christensen JC, Kravitz SR, Mendicino RW, Schuberth JM, Vanore JV, et al. The Diagnosis and Treatment of Heel Pain: A Clinical Practice Guideline—Revision 2010. *J Foot Ankle Surg*. mai 2010;49(3):S1-19.
35. Garrett WE. Muscle strain injuries. *Am J Sports Med*. 1996;24(6 Suppl):S2-8.
36. Meek WM, Kucharik MP, Eberlin CT, Naessig SA, Rudisill SS, Martin SD. Calf Strain in Athletes. *JBJS Rev [Internet]*. mars 2022 [cité 8 janv 2023];10(3). Disponible sur: <https://journals.lww.com/10.2106/JBJS.RVW.21.00183>
37. Kent-Braun JA, Ng AV, Doyle JW, Towse TF. Human skeletal muscle responses vary with age and gender during fatigue due to incremental isometric exercise. *J Appl Physiol*. 1 nov 2002;93(5):1813-23.
38. Smitten W. Photo officielle de la composition de la semelle de la Nike Air Zoom Alphafly NEXT% [Internet]. Disponible sur: <https://wildlysmitten.com/chaussures-lame-carbone/>
39. Cabre JF. Image de plaque fragmentée - Skechers Speed Elite [Internet]. 2020. Disponible sur: <https://www.lacaveajaife.fr/effet-teeter-totter-chaussure-plaque-carbone/>
40. Les meilleures chaussures à plaque carbone 2022 (Top 9) [Internet]. *ChaussureRunning.fr*. [cité 12 juin 2022]. Disponible sur: <https://chaussurerunning.fr/guides/meilleures-plaque-carbone/>
41. Kevin Quealy and Josh Katz. Nike's Fastest Shoes May Give Runners an Even Bigger Advantage Than We Thought. 13 déc 2019; Disponible sur: <https://www.nytimes.com/interactive/2019/12/13/upshot/nike-vaporfly-next-percent-shoe-estimates.html>
42. Muniz-Pardos B, Sutehall S, Angeloudis K, Guppy FM, Bosch A, Pitsiladis Y. Recent Improvements in Marathon Run Times Are Likely Technological, Not Physiological. *Sports Med*. mars 2021;51(3):371-8.
43. Biomécanique de la course à pied [Internet]. 2017 [cité 18 mars 2023]. Disponible sur: <http://passioncourseapiedetcordeasauter.blogspot.com/2017/06/biomecanique-de-la-course-conseils-pour.html>
44. Nicola TL, Jewison DJ. The Anatomy and Biomechanics of Running. *Clin Sports Med*. avr 2012;31(2):187-201.
45. Dicharry J. Kinematics and Kinetics of Gait: From Lab to Clinic. *Clin Sports Med*. juill 2010;29(3):347-64.
46. Beck ON, Golyski PR, Sawicki GS. Adding carbon fiber to shoe soles may not improve running economy: a muscle-level explanation. *Sci Rep*. déc 2020;10(1):17154.

47. Willwacher S, König M, Braunstein B, Goldmann JP, Brüggemann GP. The gearing function of running shoe longitudinal bending stiffness. *Gait Posture*. juill 2014;40(3):386-90.
48. Willwacher S, König M, Potthast W, Brüggemann GP. Does Specific Footwear Facilitate Energy Storage and Return at the Metatarsophalangeal Joint in Running? *J Appl Biomech*. oct 2013;29(5):583-92.
49. Hoogkamer W, Kipp S, Kram R. The Biomechanics of Competitive Male Runners in Three Marathon Racing Shoes: A Randomized Crossover Study. *Sports Med*. janv 2019;49(1):133-43.
50. Cabre JF. Schéma de principe de l'effort Teeter-totter [Internet]. 2020 [cité 18 mars 2023]. Disponible sur: <https://www.lacaveajaife.fr/effet-teeter-totter-chaussure-plaque-carbone/>
51. Nigg BM, Cigoja S, Nigg SR. Teeter-totter effect: a new mechanism to understand shoe-related improvements in long-distance running. *Br J Sports Med*. mai 2021;55(9):462-3.
52. Barnes KR, Kilding AE. A Randomized Crossover Study Investigating the Running Economy of Highly-Trained Male and Female Distance Runners in Marathon Racing Shoes versus Track Spikes. *Sports Med*. févr 2019;49(2):331-42.
53. Réglementation concernant les chaussures de compétition pour les athlètes d'élite selon World Athletics. In 2020. Disponible sur: <https://www.worldathletics.org/news/press-releases/modified-rules-shoes>
54. C2.1A – Athletics Shoe Regulations (effective from.pdf.
55. LEPCAM. [cité 7 juill 2022]; Disponible sur: <https://lepcam.fr/index.php/les-etapes/quantite/#transversale>
56. Université de Tours. Indicateurs de santé [Internet]. 2017 [cité 12 juill 2023]. Disponible sur: <https://santepublique.med.univ-tours.fr/wp-content/uploads/2016/07/indicateurs.pdf>
57. Boulosa D, Esteve-Lanao J, Casado A, Peyré-Tartaruga LA, Gomes Da Rosa R, Del Coso J. Factors Affecting Training and Physical Performance in Recreational Endurance Runners. *Sports*. 15 mars 2020;8(3):35.
58. Beltran RT, Powell DW, Greenwood D, Paquette MR. The Influence of Footwear Longitudinal Bending Stiffness on Running Economy and Biomechanics in Older Runners. *Res Q Exerc Sport*. 12 sept 2022;1-11.
59. Devita P, Fellin RE, Seay JF, Ip E, Stavro N, Messier SP. The Relationships between Age and Running Biomechanics. *Med Sci Sports Exerc*. janv 2016;48(1):98-106.
60. Vleck VE, Bentley DJ, Millet GP, Cochrane T. Triathlon Event Distance Specialization: Training and Injury Effects. *J Strength Cond Res*. janv 2010;24(1):30-6.
61. Galera O, Gleizes-Cervera S, Pillard F, Riviere D. Prevalence of injuries in triathletes from a French league. *Apunts Med Esport*. janv 2012;47(173):9-15.
62. Migliorini S. Risk factors and injury mechanism in Triathlon. *J Hum Sport Exerc*. juin 2011;6(2 (Suppl.)):309-14.
63. Delvaux F, Croisier JL, Sanfilippo D, Gofflot A, Tooth C, Kaux JF, et al. Prévention de blessures et triathlon. *J Traumatol Sport*. 1 sept 2019;36(3):147-52.
64. Matos S, Clemente FM, Silva R, Pereira J, Cancela Carral JM. Performance and Training Load Profiles in Recreational Male Trail Runners: Analyzing Their Interactions during Competitions. *Int J Environ Res Public Health*. 30 nov 2020;17(23):8902.
65. Matos S, Clemente FM, Silva R, Cancela Carral JM. Variations of Workload Indices Prior to Injuries: A Study in Trail Runners. *Int J Environ Res Public Health*. 5 juin 2020;17(11):4037.
66. Paquette MR, Napier C, Willy RW, Stellingwerff T. Moving Beyond Weekly "Distance": Optimizing Quantification of Training Load in Runners. *J Orthop Sports Phys Ther*. oct 2020;50(10):564-9.
67. Kiernan D, Hawkins DA, Manoukian MAC, McKallip M, Oelsner L, Caskey CF, et al. Accelerometer-based prediction of running injury in National Collegiate Athletic Association track athletes. *J Biomech*. mai 2018;73:201-9.
68. Ministère des Sports. Athlétisme, course pédestre hors stade [Internet]. [cité 6 oct 2023].

Disponible sur: <https://www.sports.gouv.fr/sites/default/files/2023-02/organiser-une-manifestation-t-l-charger-les-fiches-course-p-destre-de-nature---trail-3996.pdf>

69. Relf N, Greaves H, Armstrong R, Prior TD, Spencer S, Griffiths IB, et al. Running shoes for preventing lower limb running injuries in adults. *Cochrane Bone, Joint and Muscle Trauma Group*, éditeur. *Cochrane Database Syst Rev* [Internet]. 22 août 2022 [cité 5 oct 2023];2022(8). Disponible sur: <http://doi.wiley.com/10.1002/14651858.CD013368.pub2>
70. James R, Kesturu G, Balian G, Chhabra AB. Tendon: Biology, Biomechanics, Repair, Growth Factors, and Evolving Treatment Options. *J Hand Surg.* janv 2008;33(1):102-12.
71. Lopes AD, Junior LCH, Yeung SS, Costa LOP. What are the Main Running-Related Musculoskeletal Injuries? *Sports Med.* 2012;15.
72. Schwitzguebel AJP, Muff G, Naets E, Karatzios C, Saubade M, Gremeaux V. Prise en charge des lésions musculaires aiguës en 2018. *Rev Médicale Suisse.* 2018;14(613):1332-9.
73. Tenforde AS, DeLuca S, Wu AC, Ackerman KE, Lewis M, Rauh MJ, et al. Prevalence and factors associated with bone stress injury in middle school runners. *PM&R.* sept 2022;14(9):1056-67.
74. Taunton JE. A retrospective case-control analysis of 2002 running injuries. *Br J Sports Med.* 1 avr 2002;36(2):95-101.
75. Cupka M, Sedliak M. Hungry runners – low energy availability in male endurance athletes and its impact on performance and testosterone: mini-review. *Eur J Transl Myol* [Internet]. 11 avr 2023 [cité 6 oct 2023];33(2). Disponible sur: <https://pagepressjournals.org/index.php/bam/article/view/11104>
76. Kong PW, Candelaria NG, Smith DR. Running in new and worn shoes: a comparison of three types of cushioning footwear. *Br J Sports Med.* 15 sept 2009;43(10):745-9.
77. 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.* févr 2017;53:127-35.
78. Powell DW, Williams DSB. Changes in Vertical and Joint Stiffness in Runners With Advancing Age. *J Strength Cond Res.* déc 2018;32(12):3416-22.

# Annexes

## Annexe n°1 :

THESE - QUESTIONNAIRE COUREUR

23/02/2023 14:44

### THÈSE - QUESTIONNAIRE COUREUR

Bonjour, je m'appelle Clara Lemaire, je suis actuellement interne en Médecine Générale à la faculté de Médecine de Montpellier-Nîmes et souhaiterais réaliser ma thèse sur l'étude de la chaussure plaque carbone.

Les sujets étudiés sont les coureurs sur route, de 18 à 35 ans UTILISANT ou N'UTILISANT PAS la chaussure plaque carbone.

L'objectif principal de ce questionnaire sera d'évaluer l'impact de l'utilisation de la chaussure plaque carbone sur la prévalence des blessures des membres inférieurs chez des coureurs réguliers sur les saisons 2021 et 2022.

Je vous remercie pour vos réponses, je reste à votre disposition si vous avez des questions.

Je ne manquerai pas de vous faire parvenir mes résultats !

Merci pour votre aide

À titre d'information, vos données resteront anonymes et seront effacées en date du 01/01/2025.



(non partagé) [Changer de compte](#)



\*Obligatoire

Nom, Prénom \*

Votre réponse

Nationalité \*

Êtes-vous licencié(e) à une Fédération Française (Triathlon, Athlétisme) et depuis quelle année ?

Votre réponse

Quel est votre âge ? \*

Votre réponse

Sexe \*

Femme

Homme

Autre

Taille (m) \*

Votre réponse

Poids (kg) \*

Votre réponse

Depuis combien d'années courez-vous ? \*

< 3 ans

> 3 ans

Nombre de km en moyenne par semaine en course à pied \*

Votre réponse

Si vous faites des compétitions, dans quelle catégorie de course courez-vous ? (= Niveau de compétition)

Votre réponse

Dans quel format de course courez-vous ? (= Distance de course) \*

Votre réponse

Concernant votre foulée en course à pied, attaquez-vous : \*

Attaque avant pied

Attaque médio-pied

Attaque arrière pied

Je ne sais pas

Utilisez-vous une **paire de chaussures lame carbone** ? \*

OUI

NON

**Si vous utilisez une paire de chaussures lame carbone** ; Laquelle ou lesquelles avez-vous utilisée(s) (passé) ou utilisez-vous (actuellement) ? (type et marque)

Votre réponse

**Si vous utilisez une paire de chaussures lame carbone** ; Depuis quand l'utilisez-vous ? (Année, pour chacune des paires de chaussures si plusieurs paires)

Votre réponse

**Si vous utilisez une paire de chaussures lame carbone** ; Pourcentage (%) moyen d'utilisation de la chaussure sur le volume total de course à pied

Votre réponse

**Si vous avez utilisé une paire de chaussures lame carbone** sur les saisons 2021- \*  
2022 : avez-vous augmenté votre kilométrage mensuel (grâce à une sensation de  
meilleure récupération) ?

- Oui
- Non
- Je n'ai pas utilisé de chaussure lame carbone

**Si vous avez utilisé une paire de chaussures lame carbone** sur les saisons 2021- \*  
2022 : avez-vous présenté une sensation de fatigue accrue / courbatures  
majorées aux membres inférieurs à l'issue de ces séances ?

- Oui
- Non
- Je n'ai pas utilisé de chaussure lame carbone

Sur les saisons 2021-2022 : avez-vous déjà été blessé(e) à un membre inférieur ? \*  
(La Blessure est définie par l'arrêt ou la forte réduction de la course sur une  
période minimale de 21 jours)

- Oui
- Non

Sur les deux saisons 2021-2022 : avez-vous présenté une blessure MUSCULAIRE \*  
au membre inférieur droit et/ou gauche ? (veuillez préciser ; nouvelle ou récidive,  
date approximative, durée en jours)

Votre réponse

Sur les deux saisons 2021-2022 : avez-vous présenté une blessure TENDINEUSE \*  
au membre inférieur droit et/ou gauche ? (veuillez préciser ; nouvelle ou récidive,  
date approximative, durée en jours)

Votre réponse

Sur les deux saisons 2021-2022 : avez-vous présenté une blessure de  
FAPONÉVROSE PLANTAIRE ? (veuillez préciser ; nouvelle ou récidive, date  
approximative, durée en jours) \*

Votre réponse

Sur les deux saisons 2021-2022 : avez-vous présenté une blessure du PÉRIOSTE ? \*  
(veuillez préciser ; nouvelle ou récidive, date approximative, durée en jours)

Votre réponse

Sur les deux saisons 2021-2022 : avez-vous présenté une FRACTURE DE FATIGUE \*  
au membre inférieur droit et/ou gauche ? (veuillez préciser ; nouvelle ou récidive,  
date approximative, durée en jours)

Votre réponse

Sur les deux saisons 2021-2022 : avez-vous présenté une AUTRE blessure au \*  
membre inférieur droit et/ou gauche ? (veuillez préciser ; nouvelle ou récidive,  
date approximative, durée en jours)

Votre réponse

Remarques (utilisation de la chaussure lame carbone, autres....)

Votre réponse

Envoyer

Effacer le formulaire

N'envoyez jamais de mots de passe via Google Forms.

Ce contenu n'est ni rédigé, ni cautionné par Google. [Signaler un cas d'utilisation abusive](#) - [Conditions d'utilisation](#) -  
[Règles de confidentialité](#)

Google Forms



## QUESTIONNAIRE DE THÈSE

**Tu es un coureur régulier ? Tu as entre 18 et 35 ans ?**

**Tu peux rentrer dans le groupe d'étude !**

**Même si tu ne cours pas avec des plaques carbone**



Lien vers le questionnaire

Actuellement interne en Médecine à la faculté de Montpellier, je réalise ma thèse sur les pathologies musculo-tendineuses des membres inférieurs en lien avec la chaussure plaque carbone.

2 Groupes de coureurs :

- Chaussures classiques
- Chaussures avec plaques carbone

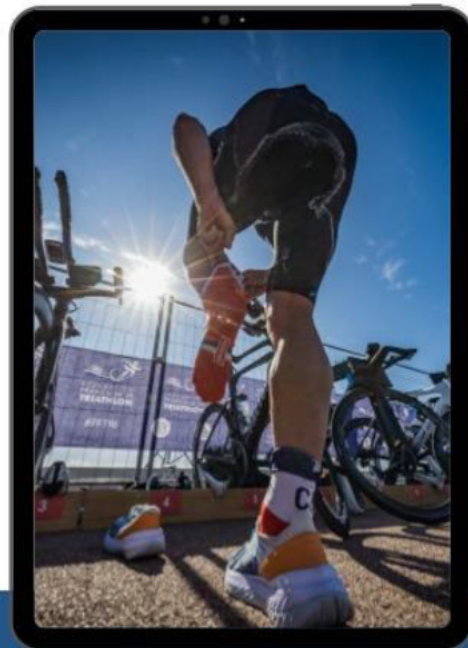
**Objectif** : Montrer l'augmentation des pathologies musculo-tendineuses avec l'utilisation de la chaussure plaque carbone.

Si tu veux plus d'informations :

 clara-lemaire-48b



[clara.lemaire@umontpellier.fr](mailto:clara.lemaire@umontpellier.fr)



Clara LEMAIRE - Interne en Médecine

## SERMENT

- *En présence des Maîtres de cette école, de mes chers condisciples et devant l'effigie d'Hippocrate, je promets et je jure, au nom de l'Être suprême, d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la médecine.*
- *Je donnerai mes soins gratuits à l'indigent et n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail.*
- *Admise dans l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui s'y passe, ma langue taira les secrets qui me seront confiés, et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs, ni à favoriser le crime.*
- *Respectueuse et reconnaissante envers mes Maîtres, je rendrai à leurs enfants l'instruction que j'ai reçue de leurs pères.*
- *Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses. Que je sois couverte d'opprobre et méprisée de mes confrères si j'y manque.*

## Résumé

### **Contexte :**

D'une part, la course à pied est prônée pour son impact positif sur la santé physique et mentale. Elle permet la pratique d'une Activité Physique et Sportive, et est encouragée par les acteurs de santé et le gouvernement Français. D'autre part, l'acquisition d'un équipement technique de course à pied reste accessible pour la majorité de la population.

À travers la démocratisation de ce sport, de nouvelles technologies sont apparues sur le marché avec pour objectif d'optimiser la performance. En 2019, doté d'une chaussure à plaque carbone, Eliud Kipchoge a battu le record du monde sur marathon en moins de deux heures (record non homologué).

Cependant, l'utilisation de matériel, dont la chaussure plaque carbone, peut s'avérer inadapté chez les coureurs à pied non expérimentés. Ces comportements sont donc à risques de développer des pathologies musculo-aponévro-tendineuses et osseuses des membres inférieurs. Nous avons souhaité savoir quelles étaient ces pathologies des membres inférieurs lors de l'utilisation de la chaussure plaque carbone ?

**Objectif :** évaluer la prévalence des blessures des membre inférieurs lors de l'utilisation de la chaussure plaque carbone chez les coureurs réguliers sur les saisons 2021 et 2022.

**Méthode :** étude pilote, descriptive, quantitative, rétrospective. Les données ont été récoltées à l'aide d'un auto-questionnaire du 1<sup>er</sup> Décembre 2022 au 31 Mai 2023.

### **Résultats :**

Nous avons inclus 97 participants âgés de 18 à 35 ans. La chaussure plaque carbone a été déclarée par 43 utilisateurs, 66 paires de chaussures à plaque carbone ont été décrites parmi 8 marques distinctes. Notre population hétérogène était représentée par des coureurs sur route, des pratiquants du trail running et des triathlètes.

Au cours des saisons 2021 et 2022, 72 blessures musculo-aponévro-squelettiques et osseuses du membre inférieur ont été déclarées. Nous avons pu montrer des tendances liées à l'utilisation de la chaussures plaque carbone, bien qu'aucun lien significatif n'ait pu être établi du fait de la méthodologie de notre étude.

Il est important de garder à l'esprit le grand nombre de facteurs intrinsèques et extrinsèques pouvant être à l'origine de blessures musculo-squelettique des membres inférieurs.

**Conclusion :** Dans les limites de conditions de réalisation de ce travail, il existe de probables impacts de l'utilisation de la chaussure à plaque carbone sur la santé musculo-squelettique des membres inférieurs de coureurs à pied.

**MOTS CLÉS :** Activité physique – Sport – Course à pied – Trail Running – Triathlon – Chaussures à plaque carbone – Nouvelles technologies – Pathologies des membres inférieurs