

**Faculté des sciences de la motricité**

**Analyse de la raideur musculo-  
tendineuse et de son influence sur  
les blessures du membre inférieur :  
Focus sur la tendinopathie d'Achille**

Une étude transversale observationnelle

Auteurs : PERETZ Elisa – VITTOT Virgile  
Promoteur : NGUYEN Anh Phong  
Année académique 2023-2024  
Master en kinésithérapie et réadaptation [60.0] – KINE2M



## **Remerciements**

Nous tenons tout d'abord à remercier notre promoteur, Anh Phong NGUYEN, pour les conseils qu'il nous a prodigués tout au long de cette thèse.

Ensuite, nous exprimons notre gratitude à tous les participants qui ont pris part à cette étude. Nous leur sommes reconnaissants pour leur temps et leur coopération.

Enfin, nous souhaitons remercier nos amis et notre famille pour leur soutien.

Contexte : La raideur des jambes est un concept biomécanique faisant référence à la résistance du membre inférieur à la déformation lors d'activités telles que la marche, la course et le saut. Elle implique la capacité des muscles, des tendons et des articulations de la jambe à absorber et à libérer l'énergie de manière efficace. La raideur des jambes joue un rôle crucial dans la locomotion humaine, en influençant des facteurs tels que la stabilité, l'efficacité du mouvement et la transmission des forces par les membres inférieurs. Un bon équilibre de la rigidité des jambes est essentiel pour de nombreuses activités, y compris les performances sportives et les mouvements quotidiens. La compréhension et l'optimisation de la rigidité des jambes sont des éléments importants dans des domaines comme la biomécanique, les sciences du sport et la rééducation. Elles contribuent à améliorer les performances et à réduire le risque de blessure musculo-tendineuse.

Conception : étude transversale observationnelle.

Méthode : Nous avons constitué un échantillon de cent quatre-vingt-un individus en bonne santé pour notre étude. Un investigateur a mesuré à l'aide du MyotonPro la raideur (exprimée en N/m) des segments jambiers inférieurs, incluant les gastrocnémiens médiaux et latéraux (GN MED, GN LAT), les fascias plantaires (FP), ainsi que les tendons d'Achille (TA) et rotuliens (TP). Simultanément, un autre investigateur a administré un questionnaire visant à collecter des données anthropométriques, un historique des antécédents de blessure, ainsi que des informations sur les habitudes liées à la pratique d'activité physique. Une analyse statistique a été réalisée pour mieux comprendre la relation entre les raideurs moyennes observées et les caractéristiques personnelles des participants. De plus, nous avons examiné de manière approfondie les raideurs en nous concentrant sur les pathologies préexistantes ou survenues dans l'échantillon pendant notre étude.

Résultats : Le tendon d'Achille (TA) s'avère être la structure musculo-tendineuse mesurée la plus raide avec une moyenne de 638 N/m. Une différence significative des raideurs selon le genre a été observée, avec une raideur moyenne plus élevée chez les hommes (484,39 N/m) que chez les femmes (427,42 N/m) pour chaque structure. Il existe des différences significatives de raideur entre les groupes concernant les paramètres anthropométriques. L'évolution des raideurs moyennes en fonction de l'âge semble être croissante. Le TA est le seul élément ayant une tendance décroissante à partir de la catégorie 50-59 ans. Il y a une augmentation

des raideurs (moyenne et médiane) chez les participants ayant vécu un ou plusieurs antécédents de blessure (ATCD) concernant les GN MED et LAT ainsi que le TA. Il est compliqué d'élaborer un lien entre le type d'ATCD et la raideur de(s) la structure(s) endommagée(s). Toutefois, une augmentation de la raideur moyenne du TA est observée chez les sujets ayant développé une tendinopathie d'Achille (731,80 N/m) en comparaison avec ceux n'en ayant jamais vécu (635.95 N/m). Le FP montre également une différence de raideur entre les sujets ayant des ATCD de tendinopathie d'Achille (plus raides) et les sujets sans ATCD de cette dernière. Aucune différence significative de raideur n'a été remarquée concernant la fréquence de pratique d'une activité physique (AP). Le groupe associant les activités physiques a montré une raideur moyenne légèrement augmentée comparé au groupe de sujets ne pratiquant aucune AP ou une seule AP. Selon les différentes AP pratiquées, nous avons observé une petite spécificité concernant le type d'AP et la raideur d'une structure associée. Par exemple, la raideur du TA chez les danseurs est inférieure à toutes les autres catégories d'AP et la raideur du FP est plus élevée chez les footeux et les marcheurs. Toutefois, être droitier ou gaucher ne semble pas influencer les raideurs des structures mesurées. Enfin, le faible taux de blessures apparues pendant l'étude ne rend pas concluant l'aspect potentiellement préventif de l'analyse des raideurs comme facteur prédictif d'une pathologie musculo-tendineuse.

Conclusion : Notre analyse des raideurs a soutenu les observations d'études précédentes concernant les liens établis avec les caractéristiques anthropométriques et démographiques. Il a été innovant d'établir des hypothèses visant à mieux comprendre l'évolution des raideurs des segments jambiers inférieurs avec les habitudes sportives, les antécédents de blessure et les blessures récentes. Plusieurs observations montrent une potentielle connexion entre les valeurs de raideur analysées et les facteurs personnels recueillis.

Mots clés : Raideur du membre inférieur, tendinopathie d'Achille, gastrocnémiens, fascia plantaire, tendon d'Achille, tendon rotulien, MyotonPro, activités-physiques et antécédent(s) de pathologie musculo-tendineuse.



## **Abréviations**

TR = Tendon rotulien

GN MED = Gastrocnémien médial

GN LAT = Gastrocnémien latéral

TA = Tendon d'Achille

FP = Fascia plantaire

JDR = Jeux de raquette

## **Table des matières**

1. Introduction .....	1
2. Méthodes .....	3
2.1. Conception de l'étude .....	3
2.2. Population.....	3
2.3. Matériel.....	4
2.4. Procédure .....	4
2.5. Analyse des données.....	5
3. Résultats .....	6
3.1. Premier objectif .....	6
3.1.1. Caractéristiques des participants et analyse descriptive des raideurs musculo-tendineuses des segments jambiers inférieurs .....	6
3.1.2. Analyse descriptive et corrélation des raideurs avec les caractéristiques démographiques et anthropométriques des participants (genre, âge, poids, taille, IMC).....	6
3.2. Deuxième objectif.....	8
3.2.1. Analyse descriptive et corrélation des raideurs avec les potentiels antécédents de blessures .....	8
3.2.2. Analyse descriptive et corrélation des valeurs des raideurs selon le type d'antécédent et de la structure atteinte .....	9
3.2.3. Analyse descriptive et corrélation des valeurs des raideurs musculo-tendineuses avec la fréquence d'activité physique pratiquée .....	11
3.2.4. Analyse descriptive et corrélation des raideurs avec l'association ou non d'activités physiques .....	11
3.2.5. Analyses descriptives et corrélation des raideurs avec le type d'activité physique pratiqué.....	12
3.2.6. Analyse descriptive et corrélation des raideurs avec l'apparition d'une blessure récente apparue durant l'étude .....	13
3.2.7. Analyse descriptive et corrélation des raideurs avec la dominance droite ou gauche .....	13

4.	Discussion .....	17
4.1.	Limitations .....	26
4.2.	Perspectives cliniques .....	26
5.	Conclusion.....	27
6.	Bibliographie .....	29
7.	Annexes .....	33
7.1.	Annexe 1 : Corrélations entre les raideurs musculo-tendineuse avec les différents groupes d'âges, de poids, de tailles et d'IMC .....	33
7.2.	Annexe 2 : Fiche de renseignements du participant .....	35
7.3.	Annexe 3 : Formulaire de consentement .....	36



## 1. Introduction

Dans l'orchestration complexe de la biomécanique humaine, la dynamique du segment inférieur de la jambe joue un rôle primordial. Chaque mouvement, depuis la simple marche jusqu'à la course athlétique, est minutieusement coordonné par un ensemble complexe de muscles et de tendons. Cependant, cette précision est parfois compromise par un défi biomécanique redoutable : la raideur musculo-tendineuse.

La raideur musculo-tendineuse, définie comme le rapport entre la contrainte appliquée et la déformation d'une structure (1), est un phénomène biomécanique souvent associé à des manifestations cliniques et des sensations subjectives dans le contexte musculo-tendineux. Mesurée en Newtons par mètre (N/m), la raideur musculo-tendineuse renseigne sur la résistance d'un muscle ou d'un tendon à l'étirement, reflétant la force nécessaire pour déformer ces structures.

Les blessures musculaires, fréquentes chez les sprinteurs et les sauteurs (2), sont souvent attribuables à une perte de flexibilité et à la raideur musculaire (3,4), des facteurs de risque majeurs pour les blessures sportives (5). Une raideur accrue affecte la performance musculaire en nécessitant plus de force pour la déformation musculaire. La raideur dépend de la structure musculaire, des forces appliquées et des propriétés intrinsèques du muscle (6). Selon la majorité des recherches sur les propriétés biomécaniques du muscle, une raideur plus élevée est généralement favorable aux activités rapides caractérisées par un cycle d'étirement-raccourcissement rapide et par des mouvements à haute vitesse (7,8) et peut également impacter la production de force musculaire (9).

Les caractéristiques mécaniques des muscles et des tendons, combinées aux propriétés élastiques des structures articulaires, ainsi que la raideur engendrée par les contractions musculaires, influent sur la raideur globale du membre. La conversion de l'énergie en mouvement implique le retour d'une certaine énergie élastique dans les muscles et les tendons, ce qui rend un muscle "plus rigide", plus efficace pour un transfert d'énergie économique avec une consommation d'oxygène plus faible (10).

La tendinopathie d'Achille (TA) est la plus fréquente des blessures de surutilisation du membre inférieur et des pathologies du pied et de la cheville liées à la pratique

sportive (12,13,14,15), avec une incidence plus élevée chez les individus entre 30 et 50 ans (15). Cette pathologie peut survenir suite à un excès de sollicitation, que ce soit chez les sportifs avec une augmentation de la charge sur le tendon ou chez les sédentaires suite à une activité inhabituelle. En effet, le tendon nécessite des contraintes appropriées pour maintenir son efficacité lors des mouvements qui lui sont infligés.

En plus des altérations structurales du tendon, plusieurs facteurs externes et internes semblent influencer l'apparition de la tendinopathie d'Achille. Les facteurs externes peuvent comprendre des modifications du terrain ou du matériel, des ajustements du geste technique, des changements climatiques, une intensification de la fréquence et de l'intensité des séances d'entraînement ou encore l'absence d'échauffement (16). Les facteurs internes, quant à eux, peuvent engendrer des contraintes excessives, une compression ou des forces de cisaillement, notamment des dysfonctionnements statiques et dynamiques du membre inférieur et du rachis, conduisant à une répartition inadéquate des charges (17,18).

La compréhension de la corrélation entre la raideur musculaire des membres inférieurs et la tendinopathie d'Achille est importante pour une prévention et une gestion efficace de celle-ci. Les interventions visant à améliorer la flexibilité musculaire, à rectifier les déséquilibres musculaires, et à optimiser la biomécanique de la marche ou de la course peuvent contribuer à réduire le risque de développer une tendinopathie d'Achille, ou à atténuer les symptômes chez ceux qui en sont atteints.

L'objectif de cette investigation clinique est d'approfondir notre compréhension de la relation entre la raideur musculo-tendineuse des segments jambiers inférieurs, en se focalisant particulièrement sur le tendon d'Achille, et les éventuels troubles musculo-tendineux du quadrant inférieur. Pour ce faire, l'objectif principal sera d'analyser les facteurs démographiques et anthropométriques qui influencent la raideur du segment jambier inférieur au sein d'un échantillon d'individus. Ensuite, dans un objectif secondaire, nous tenterons d'établir des liens entre les antécédents pathologiques éventuels et les habitudes sportives des participants afin de déterminer l'impact de ces facteurs sur la raideur musculo-tendineuse des jambes.

## **2. Méthodes**

### **2.1. Conception de l'étude**

Cette étude de cohorte transversale observationnelle a été menée en Belgique à l'Université Catholique de Louvain-la-Neuve (UCLouvain) et a pour but d'analyser les raideurs des segments jambiers inférieurs en fonction des paramètres anthropométriques et démographiques, puis selon les antécédents de blessure et les habitudes sportives d'un échantillon de personne. L'étude s'est déroulée entre octobre 2023 et avril 2024. Les participants ont été sélectionnés sur la base du volontariat, ils ont reçu les informations expliquant le déroulement de l'étude et une lettre de consentement a été lue et signée.

### **2.2. Population**

Cent quatre-vingt-un participants en bonne santé ont été recrutés pour les mesures de l'étude, comprenant 80 hommes et 101 femmes, avec un âge moyen de 33 ans et un indice de masse corporelle moyen de 23 kg/m<sup>2</sup>. Tous les participants ont donné leur consentement éclairé par écrit après avoir été informés des procédures et de la politique de confidentialité. Aucun des investigateurs impliqués n'avait de relation commerciale ou d'affiliation avec la société Myoton AS.

Pour être inclus dans l'étude, les patients devaient répondre aux critères suivants : sexe masculin ou féminin, être âgés de 18 ans ou plus, ne pas souffrir de diabète, d'ostéoporose ou de rhumatisme, ne jamais avoir souffert d'un traumatisme ou d'une pathologie du quadrant inférieur depuis au moins 6 mois, ne pas avoir de lésion cutanée au niveau du site de mesure, ne pas prendre d'anabolisants ou d'autres médicaments pouvant affecter le système musculo-squelettique, et ne pas avoir d'historique d'intervention chirurgicale du membre inférieur, y compris le bas du dos, depuis au moins 6 mois.

Les participants ont été exclus s'ils présentaient des signes cliniques ou des symptômes de troubles musculo-squelettiques, d'infection, de maladie chronique, de maladie cardiovasculaire ou métabolique, s'ils avaient un appareil d'ostéosynthèse des membres inférieurs, une affection cutanée contre-indiquant l'utilisation du MyotonPRO, ou s'ils prenaient des médicaments affectant les propriétés et les caractéristiques des muscles squelettiques. Les participants ont été informés qu'ils ne devraient pas pratiquer de sport 3 heures avant les mesures.

### 2.3. Matériel

L'étude a utilisé l'appareil MyotonPRO pour mesurer la raideur des tendons rotuliens, d'Achille, des gastrocnémiens médiaux et latéraux, ainsi que des fascias plantaires chez des participants en bonne santé de tous âges. Cet appareil, conçu par Myoton AS à Tallinn, en Estonie, est un dispositif portable et non invasif.



*Fig.1 MyotonPro Digital Palpation Device*

Il est équipé d'une pointe de mesure placée perpendiculairement sur la peau au-dessus du muscle, du tendon ou du fascia à évaluer. Après une précompression du tissu sous-cutané à 0,18 N, la pointe oscille grâce à un mécanisme électromagnétique pendant 15 ms avec une force de 0,58 N. Les oscillations consécutives de la peau et du muscle ou du fascia sous-jacent sont enregistrées par l'appareil. À partir de l'amortissement de la courbe d'oscillation sur 400 ms, des paramètres quantitatifs sont calculés, fournissant des informations sur les caractéristiques biomécaniques des tissus et leurs propriétés musculaires passives, notamment la rigidité mesurée en N/m. Cet appareil transportable et facile à utiliser a été récemment validé pour mesurer la raideur musculo-tendineuse, avec plusieurs études confirmant sa fiabilité. (1,26).

### 2.4. Procédure

Les données initiales, incluent genre, âge, taille, poids, profession, pied dominant, activités physiques et leur fréquence, ainsi que les antécédents de blessures, ont été collectées via un formulaire (Annexe n°2). Les mesures ont été réalisées avec le MyotonPro à l'Université Catholique de Louvain (UCLouvain), dans des clubs sportifs ou à un lieu convenant aux participants, en standardisant la posture pour chaque mesure. Chaque session durait 10 à 15 minutes, et les participants pouvaient se retirer à tout moment sans justification. Pendant qu'un

enquêteur recueillait les données personnelles, un autre marquait les repères avec un stylo dermographe.

Les participants, allongés sur une table avec un rouleau sous les genoux pour fléchir le tendon rotulien à 30°, étaient positionnés pour la mesure du tendon rotulien, effectuée au centre de celui-ci. Pour les gastrocnémiens, le tendon d'Achille et le fascia plantaire, ils étaient placés en décubitus ventral, les pieds dépassant de la table pour une position anatomique standardisée. Le point de repère pour les gastrocnémiens était marqué au centre après une flexion plantaire pour mieux visualiser les contours musculaires. La raideur a été mesurée au repos. Pour le tendon d'Achille, la mesure a été prise 7 cm au-dessus de l'insertion calcanéenne, et pour le fascia plantaire, après avoir mis le fascia en tension par une flexion dorsale du pied et fléchi le genou à 90 degrés. Après marquage, le patient était replacé en position standard. Le point de mesure pour le fascia plantaire se trouvait sur la partie distale du cunéiforme.

## **2.5. Analyse des données**

Les données recueillies ont été saisies individuellement sur des feuilles avant d'être transférées dans un fichier Excel sécurisé pour une analyse statistique détaillée. L'analyse a été réalisée avec le logiciel SPSS, considérant des résultats comme statistiquement significatifs si la p-valeur était inférieure ou égale à 0,05. La normalité des données a été évaluée par le test de Kolmogorov-Smirnov pour les échantillons de plus de 50 participants. Les résultats significatifs ont été présentés par médiane et écart interquartile, et les non significatifs par moyenne et écart-type, les données clés étant mises en évidence en gris foncé. Les moyennes de raideur pour chaque segment musculo-tendineux (TR, GN MED, GN LAT, TA et FP) ont été calculées et interprétées selon le genre, l'âge, et l'IMC, en plus d'une comparaison ANOVA entre chaque sous-groupe. Ces moyennes ont également été analysées en fonction des antécédents médicaux, du type et de la fréquence des activités physiques, de la présence de blessures après cinq mois et de la dominance du pied. Un test t pour échantillons indépendants a été utilisé pour comparer les raideurs entre individus avec et sans antécédents de tendinopathie d'Achille. Les corrélations entre ces variables ont été établies via le coefficient de Spearman. Des graphiques ont été générés à partir d'Excel pour illustrer ces analyses.

### 3. Résultats

#### 3.1. Premier objectif

##### 3.1.1. *Caractéristiques des participants et analyse descriptive des raideurs musculo-tendineuses des segments jambiers inférieurs*

Au total, 181 participants sains ont été inclus dans l'étude, avec des âges compris entre 18 et 84 ans, et un âge médian de 27 ans. Les caractéristiques démographiques et anthropométriques des participants sont présentées dans le tableau 1. Les moyennes et médianes des raideurs des segments sont récapitulées dans le tableau 2. Ces résultats offrent une bonne indication de la distribution et de la variabilité des données relatives à l'âge, à la taille, au poids et à l'IMC dans l'échantillon étudié.

**Tableau 1.** *Caractéristiques de l'échantillon*

Caractéristiques	Moyenne	Médiane
Âge (années)	32,55±14,15	27±14,50
Taille (cm)	172,83±9,27	173±14
Poids (kg)	69,64±13,56	68±19,50
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	23,19±3,40	22,83±4,14

cm, centimètre ; kg, kilogramme ; IMC, index de masse corporelle ; kg/m<sup>2</sup> : kilogramme par mètre carré  
Données exprimées en moyenne, écart-type (gris clair) ; médiane, écart interquartile (gris foncé)

**Tableau 2.** *Analyse descriptive des raideurs musculo-tendineuses*

Structures anatomiques	Raideurs des structures anatomiques (N/m)	
	Moyenne	Médiane
TP	572,28±101,87	558,50±122,8
GN MED	285,37±47,24	279±55,8
GN LAT	305,84±54,66	292,50±65,3
TA	638,60±113,64	640,50±143,8
FP	460,91±76,20	450±88,3

N/m, Newton par mètre

Données exprimées en moyenne, écart-type (gris clair) ; médiane, écart interquartile (gris foncé)

##### 3.1.2. *Analyse descriptive et ANOVA à 1 facteur des raideurs avec les caractéristiques démographiques et anthropométriques des participants (genre, âge, poids, taille, IMC)*

Dans cette partie, nous avons particulièrement concentré notre attention sur les résultats concernant le tendon d'Achille. Les valeurs de raideur des segments jambiers par genre sont présentées dans le tableau 3. Il a été constaté que pour tous les segments, la raideur moyenne est plus élevée chez les hommes que chez les femmes.

**Tableau 3. Analyse descriptive et ANOVA des raideurs musculotendineuses avec le genre**

SA	Genre					
	Homme (n=80)			Femme (n=101)		
	Moyenne	Médiane	Moyenne	Médiane	Spearman	P-value
TR	589,42±84,06	582,00±124,9	558,698±112,59	542,50±139,8	0,210**	0,005
GN MED	310,38±51,96	304,50±61,0	265,56±31,43	265,00±42,5	0,495**	<0,001
GN LAT	339,61±58,13	337,50±78,6	279,09±32,77	279,50±43,5	0,555**	<0,001
TA	698,92±89,78	693,50±130,9	590,82±107,99	591,00±165,8	0,466**	<0,001
FP	483,62±90,04	467,25±115,6	442,92±57,51	440,00±66,8	0,232**	0,002

*n*, nombre de participants dans chaque catégorie

Données exprimées en moyenne, écart-type (gris clair) ; médiane, écart interquartile (gris foncé)

\*\* , La corrélation est significative au niveau 0.01

Afin de comparer les différents groupes d'âge, de poids, de taille et d'IMC, nous avons pris les raideurs moyennes regroupant les raideurs recueillies sur la jambe droite et gauche. Une tendance globalement croissante a été observée entre toutes les caractéristiques ci-dessous et la raideur moyenne des structures. Tous les détails de ces observations sont disponibles dans l'annexe 7.1.

Nous observons des différences statistiquement significatives entre les groupes d'âge pour la variable "raideur" du TR et du FP, avec comme résultats : TR ( $p < 0,001$  IC95% [0,054 à 0,238]) et FP ( $p = 0,047$  IC95% [0,000 à 0,123]).

**Tableau 4. Analyse descriptive et ANOVA des raideurs musculotendineuses avec l'âge**

Age (année)	Moyennes des raideurs (N/m)							P-value
	Moins de 20	20 à 24	25 à 29	30 à 39	40 à 49	50 à 59	Plus de 60	
TR	493,58	539,50	560,58	604,14	602,54	633,38	644,12	<0,001
GN MED	299,92	281,47	284,10	275,12	276,73	304,97	299,77	0,295
GN LAT	307,96	304,60	312,10	294,84	309,92	303,28	311,38	0,919
TA	613,83	610,54	647,20	650,40	665,69	700,66	619,12	0,109
FP	455,75	450,31	439,33	471,16	503,69	480,53	492,66	0,047

Âge, année ; N/m, Newton par mètre

Données exprimées en moyenne, écart-type

Seuil de significativité,  $\leq 0,05$

Pour la raideur des TA, des GN MED et LAT et des FP, nous observons des différences significatives entre les regroupements de poids : GN MED ( $p < 0,001$  IC95% [0,092 à 0,291]) ; GN LAT ( $p < 0,001$  IC95% [0,183 à 0,392]) ; TA ( $p < 0,001$  IC95% [0,087 à 0,284]) ; FP ( $p < 0,001$  IC95% [0,161 à 0,369]).

**Tableau 5. Analyse descriptive et ANOVA des raideurs musculotendineuses avec le poids**

Poids (kg)	Moyennes des raideurs (N/m)							P-value
	40 à 49	50 à 59	60 à 69	70 à 79	80 à 89	90 à 99	100 et +	
TR	606,14	568,62	581,19	548,49	575,34	582,04	605,00	0,714
GN MED	240,86	264,78	275,41	297,96	300,18	317,50	374,67	<0,001
GN LAT	252,93	273,26	293,64	320,55	332,93	342,71	439,33	<0,001
TA	533,07	564,43	650,98	666,72	644,18	721,11	783,33	<0,001
FP	410,07	434,55	441,02	461,61	492,38	517,75	694,83	<0,001

kg, kilogramme ; N/m, Newton par mètre

Données exprimées en moyenne, écart-type

Seuil de significativité,  $\leq 0,05$

Pour le facteur taille, la variable “raideur“ du TA, des GN MED et LAT, nous remarquons des différences significatives : GN MED ( $p < 0,001$  IC95% [0,087 à 0,281]) ; GN LAT ( $p < 0,001$  IC95% [0,150 à 0,355]) ; TA ( $p < 0,001$  IC95% [0,110 à 0,309]).

**Tableau 6.** Analyse descriptive et ANOVA des raideurs musculo-tendineuses avec la taille

Taille (cm)	Moyennes des raideurs (N/m)					P-value
	147 à 160	160 à 169	170 à 179	180 à 189	190 cm et +	
TR	560,77	571,45	577,00	564,39	604,75	0,919
GN MED	262,23	257,74	292,31	312,30	301,75	<0,001
GN LAT	274,00	271,74	309,98	346,89	340,00	<0,001
TA	526,91	581,51	657,35	694,43	763,75	<0,001
FP	464,09	438,97	461,47	482,35	507,00	0,062

cm, centimètre ; N/m, Newton par mètre

Données exprimées en moyenne, écart-type

Seuil de significativité,  $\leq 0,05$

Mise à part pour le tendon rotulien, nous observons des différences statistiquement significatives entre les groupes pour la variable de l'IMC, avec comme résultats : TR ( $p = 0,499$  IC95% [0,00 à 0,048]) ; GN MED ( $p < 0,001$  IC95% [0,041 à 0,210]) ; GN LAT ( $p < 0,001$  IC95% [0,099 à 0,293]) ; TA ( $p = 0,011$  IC95% [0,004 à 0,127]) ; FP ( $p < 0,001$  IC95% [0,095 à 0,289]).

**Tableau 7.** Analyse descriptive des raideurs musculo-tendineuses avec l'IMC

IMC (Kg/m <sup>2</sup> )	Moyennes des raideurs (N/m)				P-value
	< 18,5	18,5 à 24,9	25 à 29,9	30 à 39,9	
TR	535,58	578,72	558,78	551,64	0,499
GN MED	266,17	279,03	306,19	314,29	<0,001
GN LAT	280,83	298,11	329,90	349,14	<0,001
TA	625,08	630,22	673,33	629,64	0,011
FP	394,25	443,54	515,54	564,57	<0,001

Kg/m<sup>2</sup>, kilogramme par mètre carré ; N/m, Newton par mètre

Données exprimées en moyenne, écart-type

Seuil de significativité,  $\leq 0,05$

## 3.2. Deuxième objectif

### 3.2.1. Analyse descriptive et T-test de variables indépendantes des raideurs avec les potentiels antécédents de blessure

Concernant les raideurs et les antécédents de blessure, les valeurs des moyennes et des médianes ont eu tendance à augmenter chez les sujets ayant préalablement vécus un épisode douloureux. Un T-test d'échantillons indépendants a été utilisé pour comparer les moyennes des raideurs de nos structures avec comme facteur “antécédent de blessure“. Les résultats sont présentés dans le tableau 8. Nous avons constaté des différences statistiquement significatives entre les GN MED ( $t = -2,416$ ,  $p = 0,033$ ), les GN LAT ( $t = -2,434$ ,  $p = 0,013$ ) et le TA ( $t = -3,892$ ,  $p < 0,001$ ) avec les antécédents de blessure.

**Tableau 8.** Analyse descriptive et T-test d'échantillons indépendants des raideurs musculotendineuses avec ou sans antécédent de blessure

	Antécédent de blessure (N/m)				T-value	P-value
	Moyenne		Médiane			
	Non	Oui	Non	Oui		
TR	576,48±109,03	569,16±96,65	552±126,8	561,25±125,8	0,477	0,634
GN MED	275,64±41,58	292,57±50,02	271,50±56,8	284,25±52,9	-2,416	0,017
GN LAT	294,50±50,45	314,23±56,36	283±68,3	300,50±66,9	-2,434	0,016
TA	601,81±109,65	665,84±109,26	609,50±158,5	668,50±143,3	-3,892	< 0,01
FP	457,42±73,99	463,50±78,05	442,50±78,8	455,50±95,9	0,530	0,597

%, pourcentage dans chaque catégorie (selon l'effectif de notre échantillon) ; N/m, Newton par mètre

Données exprimées en moyenne, écart-type (gris clair) ; médiane, écart interquartile (gris foncé)

\*\*,  $\leq 0.01$  ; sans (\*),  $\leq 0,05$

### 3.2.2. Analyse descriptive et corrélation des valeurs des raideurs selon le type d'antécédent et de la structure atteinte

Les moyennes et médianes des raideurs, ainsi que les coefficients de corrélation de Spearman évaluant l'association entre les raideurs musculotendineuses et les différents types d'antécédents de blessures, sont compilés dans le Tableau 9. Une corrélation modérée a été observée entre la raideur des gastrocnémiens latéraux, exprimée en médiane, et les antécédents de blessure au niveau des ligaments ( $r=0,152$ ,  $p=0,041$ ). Aussi, la raideur du TA, exprimée en moyenne, a montré une corrélation significative avec les antécédents de blessure au niveau des tendons ( $r=0,169$ ,  $p=0,023$ ), des ligaments ( $r=0,151$ ,  $p=0,043$ ) et du périoste ( $r=0,174$ ,  $p=0,019$ ). Cependant, les autres types d'antécédents n'ont pas présenté de corrélations significatives avec les diverses raideurs musculotendineuses. Les représentations graphiques des statistiques descriptives entre les types d'antécédents de blessures et la raideur moyenne des régions musculotendineuses sont disponibles dans la figure 2.

Evolution de la raideur associée au type d'antécédent et/ou au tissu atteint

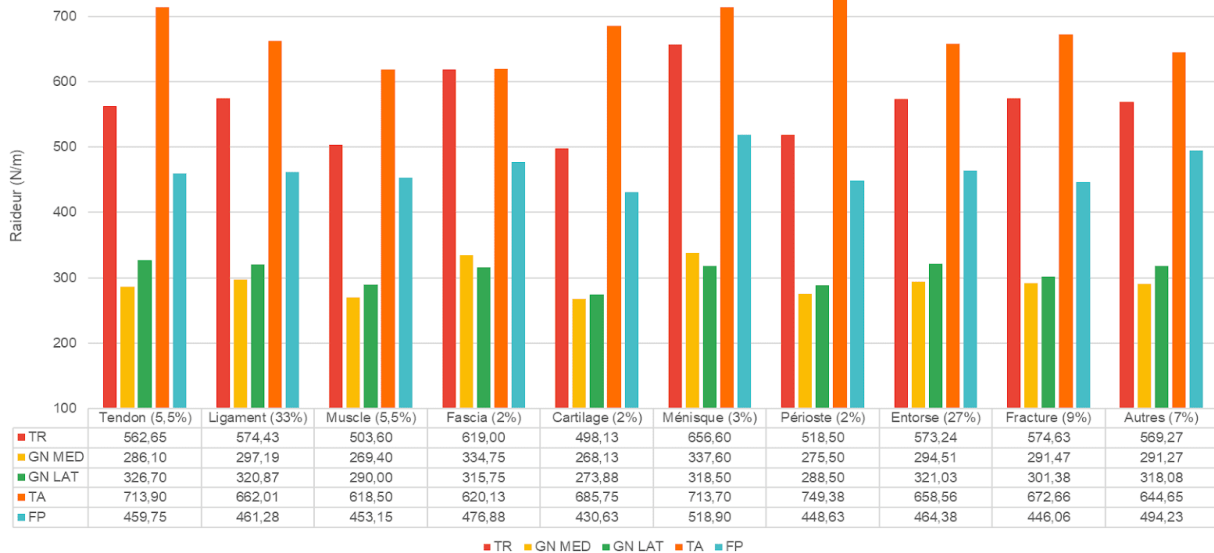


Fig.2 Statistiques descriptives entre les types d'antécédents de blessures et les raideurs des régions musculo-tendineuses

### 3.2.2.1. Analyse descriptive, T-test et corrélation des raideurs musculo-tendineuses avec ou sans antécédent de tendinopathie d'Achille

Ici, nous avons comparé les raideurs des segments musculo-tendineux afin d'examiner s'il existait une différence entre les individus ayant eu un antécédent de tendinopathie d'Achille et ceux n'en ayant jamais développé. Les données apparaissent dans le tableau 10. Une diminution générale des raideurs suite à un ATCD a été observée, à l'exception du TA, où elle semble augmenter en cas d'antécédent de tendinopathie d'Achille (sans = 635,95, avec = 731,80). Malgré le fait que le test de Student n'ait pas montré une représentation adéquate de l'échantillon pour garantir l'inégalité des variances, nous avons observé une tendance significative concernant la raideur du TA ( $p=0,063$ ). De plus, une corrélation significative a été observée pour la raideur du TA avec l'antécédent de tendinopathie d'Achille ( $r=0,151$ ,  $p=0,042$ ).

Tableau 10. Analyse descriptive, T-test et corrélation des raideurs musculo-tendineuses avec ou sans antécédent de tendinopathie d'Achille

Raideurs des segments jambiers avec ou sans ATCD de tendinopathie d'Achille							
	Sans ATCD		Avec ATCD		T-test	Spearman	P-value
	Moyenne	Médiane	Moyenne	Médiane			
TR	572,64±102,11	558,25±123,6	559,40±102,85	572±175	0,775	0,001	0,990
GN MED	285,65±47,63	278,75±57,1	275,50±32,36	279±55,3	0,637	-0,022	0,766
GN LAT	305,64±54,85	292,75±67,4	312,70±52,59	286,50±73,5	0,777	0,029	0,701
TA	635,95±113,64	639,50±142,8	731,80±71,19	727,50±128,3	0,063	0,151	0,042
0,753	460,01±75,19	450,50±86,4	492,40±112,42	432,50±201,8	0,350	0,024	0,753

%, pourcentage dans chaque catégorie (selon l'effectif de notre échantillon) ; N/m, Newton par mètre

Les valeurs du test T ont été fixées au test de signification  $\alpha = 0,05$ .

Données exprimées en moyenne, écart-type (gris clair) ; médiane, écart interquartile (gris foncé)

Seuil de significativité,  $\leq 0,05$

### 3.2.3. Analyse descriptive et corrélation des valeurs des raideurs musculo-tendineuses avec la fréquence d'activité physique pratiquée

Les valeurs des raideurs musculo-tendineuses en fonction du nombre de jours d'activités physiques par semaine sont répertoriées dans le tableau 11. Environ 49 % de l'effectif total a signalé entreprendre une AP allant de zéro à deux fois par semaine, 46 % allant de trois à cinq fois par semaine, contre 6 % allant six à sept fois par semaine. Chez cette faible et dernière proportion, nous avons remarqué une diminution des raideurs moyennes. Pour les deux proportions les plus marquées, une augmentation des raideurs a été observée entre le premier et le deuxième groupe, suivie d'une faible diminution entre le deuxième et le troisième groupe. Le coefficient de Spearman a indiqué une corrélation significativement modérée pour les GN MED ( $r=0,154$ ,  $p=0,038$ ) et pour le TA ( $r=0,152$ ,  $p=0,041$ ) avec la fréquence d'activité physique. Aucune autre corrélation significative n'a été trouvée concernant le TR ( $r=0,037$ ,  $p=0,620$ ), le GN LAT ( $r=0,114$ ,  $p=0,128$ ) et le FP ( $r=0,037$ ,  $p=0,625$ ).

**Tableau 11.** Analyse descriptive et corrélation des raideurs musculo-tendineuses en fonction du nombre de jours d'activités physiques par semaine

	Nombre de jours d'activités physiques par semaine						Spearman	P-value
	0 à 2 x/sem		3 à 5 x/sem		6 à 7 x/sem			
	Moyenne	Médiane	Moyenne	Médiane	Moyenne	Médiane		
TR	561,10±84,17	558,25±105,8	582,74±112,46	552,50±157	583,85±146,47	571,42±148,3	0,037	0,620
GN MED	277,35±44,09	271,50±57,1	294,35±51,14	284,50±50,5	281,40±25,04	279,75±19,5	0,154	0,038
GN LAT	300,77±57,10	288,25±69,8	311,18±51,93	297±60	306,05±46,45	306,50±73,8	0,114	0,128
TA	621,18±116,48	613±161,3	657,15±108,34	655,50±119	638±118,57	632,25±222,9	0,152	0,041
FP	461,30±84,35	441,25±99,1	461,33±68,90	452±87	454±63,45	450,75±94,5	0,037	0,625

*N/m, Newton par mètre*

*Données exprimées en moyenne, écart-type (gris clair) ; médiane, écart interquartile (gris foncé)*

*Seuil de significativité,  $\leq 0,05$*

### 3.2.4. Analyse descriptive et corrélation des raideurs avec l'association ou non d'activités physiques

Le tableau 12 réunit l'analyse descriptive et les coefficients de corrélation de Spearman des raideurs avec la combinaison d'activités physiques. Nous avons remarqué une légère augmentation des raideurs lorsque les participants pratiquent plus d'une activité dans leurs habitudes sportives. Cependant, nous n'avons pas observé de corrélation significative pour le TR ( $r=0,103$ ,  $p=0,169$ ), les GN MED ( $r=0,050$ ,  $p=0,505$ ), le GN LAT ( $r=0,042$ ,  $p=0,576$ ), le tendon d'Achille ( $r=0,123$ ,  $p=0,099$ ) et le fascia plantaire ( $r=0,030$ ,  $p=0,687$ ) avec la combinaison d'activités physiques.

**Tableau 12.** Analyse descriptive et corrélation des raideurs musculo-tendineuses avec ou sans combinaison d'activités physiques

	Combinaison d'activités physiques ?					
	Moyenne		Médiane		Spearman	P-Value
	Non	Oui	Non	Oui		
TR	558,29±99,98	579,75±102,50	549,50±138,5	570,25±113,4	0,103	0,169
GN MED	285,20±52,64	285,46±44,33	272±70,5	280±41	0,050	0,505
GN LAT	304,71±61,38	306,44±50,99	297±77,5	291,75±57	0,042	0,576
TA	622,39±127,91	647,25±104,80	612±150	646,75±147,8	0,123	0,099
FP	461,54±90,78	461,57±67,56	445±101,5	453±86,9	0,030	0,687

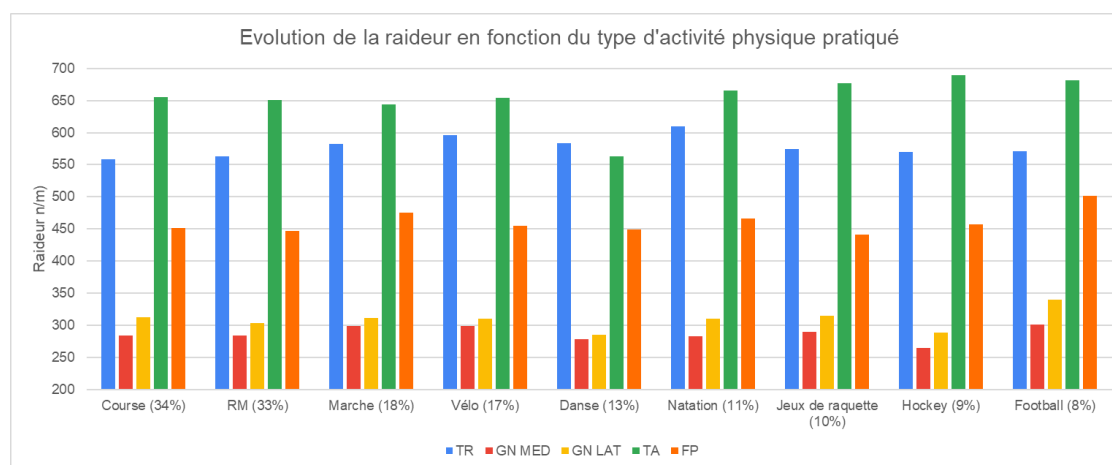
N/m, Newton par mètre

Données exprimées en moyenne, écart-type (gris clair) ; médiane, écart interquartile (gris foncé)

Seuil de significativité,  $\leq 0,05$

### 3.2.5. Analyses descriptives et corrélation des raideurs avec le type d'activité physique pratiqué

Plusieurs sports ont été mentionnés par les participants, mais seulement neuf ont été conservés car ils étaient les plus pratiqués. Ces sports sont accompagnés de pourcentages pour indiquer la proportion de personnes qui les pratiquent : la course à pied (34 %), la musculation (33 %), la marche (18 %), le vélo (17 %), la danse (13 %), la natation (11 %), les jeux de raquette (10 %), le hockey (9 %), et le football (8 %). Nous avons donc analysé les raideurs en fonction des différents sports pratiqués afin de déterminer s'il existait une corrélation significative entre eux. Les gastrocnémiens médiaux sont modérément corrélés à la pratique du hockey ( $r=-0,176$ ,  $p=0,018$ ). En ce qui concerne les gastrocnémiens latéraux, ils présentent une faible corrélation avec la pratique du hockey ( $r=-0,150$ ,  $p=0,044$ ) et du football ( $r=0,168$ ,  $p=0,024$ ). La raideur du TA est fortement corrélée à la danse ( $r=-0,273$ ,  $p<0,001$ ) et faiblement au hockey ( $r=0,149$ ,  $p=0,045$ ). Enfin, la raideur FP est corrélée à la marche ( $r=0,153$ ,  $p=0,040$ ) et au football ( $r=0,207$ ,  $p=0,005$ ).



### 3.2.6. Analyse descriptive et corrélation des raideurs avec l'apparition d'une blessure récente apparue durant l'étude

Cinq mois après la prise de mesure, 128 participants ont indiqué qu'ils n'avaient pas subi de blessure, 11 ont signalé s'être blessés et 42 n'ont pas répondu à notre enquête de suivi. Les non-réponses n'ont pas été impliquées dans les analyses statistiques. Les moyennes et médianes des raideurs étaient moins élevées chez les participants ayant subi une blessure, comparées à ceux qui n'en ont pas eu, à l'exception des gastrocnémiens médiaux. Cependant, à partir de ces données basées sur un taux de réponse positive très faible à une blessure, aucune corrélation significative n'a été constatée entre une blessure survenue au cours de l'étude et la raideur du TR ( $r=-0,093$ ,  $p=0,277$ ), du GN MED ( $r=0,530$ ,  $p=0,539$ ), du GN LAT ( $r=-0,004$ ,  $p=0,960$ ), du TA ( $r=-0,033$ ,  $p=0,698$ ) et du FP ( $r=-0,045$ ,  $p=0,595$ ).

**Tableau 14.** Analyse descriptive et corrélation des raideurs musculo-tendineuses avec l'apparition ou non d'une blessure pendant l'étude

	Raideur des segments jambiers pré/ post blessures				Spearman	P-Value
	Moyenne		Médiane			
	Non	Oui	Non	Oui		
TR	578,67±103,13	544,14±62,85	562,75±130,6	549,50±91,5	-0,093	0,277
GN MED	281,12±42,87	289,27±31,45	275±53	280±49	0,530	0,539
GN LAT	302,47±55,68	301,59±45,03	290,25±63,3	293±59	-0,004	0,960
TA	643,45±118,72	628,96±117,79	644,50±153	642±133,5	-0,033	0,698
FP	462,27±80,97	448,73±79,74	448,75±86,6	464±77,5	-0,045	0,595

*N/m, Newton par mètre*

*Données exprimées en moyenne, écart-type (gris clair) ; médiane, écart interquartile (gris foncé)*

*Seuil de significativité,  $\leq 0,05$*

### 3.2.7. Analyse descriptive et corrélation des raideurs avec la dominance droite ou gauche

Pour cette partie, nous avons conservé les raideurs des segments par côté (droit et gauche) au lieu de la moyenne des deux, afin de déterminer s'il existe une différence de raideurs entre le pied dominant et non dominant. En comparant les moyennes, nous avons constaté qu'il n'y avait pas de raideurs plus importantes d'un côté considéré comme dominant par rapport à l'autre. Aucune corrélation significative n'a été observée concernant ce paramètre.

**Tableau 15.** Analyse descriptive des raideurs musculo-tendineuses entre le pied dominant et non dominant

	Dominance gauche/droite				Spearman	P-value
	Gaucher (n=15)		Droitier (n=166)			
	Moyenne	Médiane	Moyenne	Médiane		
TR D	558,40±122,46	538±116	571,27±106,16	559,50±135	-0,066	0,380
TR G	599,33±137,80	558±208	572,09±110,68	557±136	0,030	0,684
GN MED D	287,07±52,02	283±52	287,58±50,11	281,50±53	0,006	0,939
GN MED G	282,20±37,04	278±67	283,28±50,17	274,50±62	0,026	0,727
GN LAT D	305,73±47,94	302±85	307,74±59,44	294,50±68	0,021	0,780
GN LAT G	302,47±56,41	293±87	304,25±56,70	295±59	-0,002	0,973
TA D	688,27±128,84	662±152	638,57±124,41	640±172	0,102	0,173
TA G	673,80±140,52	655±159	630,96±113,09	637±168	0,079	0,288
FP D	473,80±72,07	474±100	459,34±82,23	447±79	0,056	0,451
FP G	482,73±98,74	454±127	459,34±74,59	450±84	0,044	0,552

N/m, Newton par mètre

Données exprimées en moyenne, écart-type (gris clair) ; médiane, écart interquartile (gris foncé)

Seuil de significativité, ≤0,05

**Tableau 9.** Analyse descriptive et corrélation des raideurs musculo-tendineuses avec chaque type d'antécédents de blessures

Antécédents		Raideurs des segments jambiers (N/m)				Spearman	P-value
		Moyenne		Médiane			
		Non	Oui	Non	Oui		
TR	Tendon	572,84±102,75	562,65±89,64	558,50±124,5	560,25±127	0,001	0,985
	Ligament	571,21±106,75	574,42±92,07	551,50±116,5	577,75±124,4	0,053	0,478
	Muscle	576,29±100,50	503,60±105,83	558,50±124,5	527,25±187,6	-0,126	0,092
	Fascia	571,22±102,16	619±85,79	558±122,5	279±55,8	0,081	0,281
	Cartilage	573,95±102,32	498,13±30,58	561±122,5	500,75±57,9	-0,140	0,061
	Ménisque	569,88±99,85	656,60±147,15	558,25±118,5	656±280	0,093	0,214
	Périoste	573,49±101,99	518,50±91,71	558,50±122,5	522±176,5	-0,081	0,281
	Entorse	571,92±104,64	573,25±95,03	550,50±115	578±135	0,042	0,576
	Fracture	572,05±100,88	574,63±115,10	558±123,8	571,75±108,9	0,012	0,875
	Autre	572,51±102,78	569,27±92,95	558,50±122,6	558±139	0,009	0,900
GN MED	Tendon	285,33±47,45	286,10±45,84	279±58,5	275,50±31,1	-0,005	0,951
	Ligament	279,50±39,96	297,19±57,87	274,50±57	284,75±51,4	0,128	0,087
	Muscle	286,30±47,65	269,40±38	279±51	248,50±75,5	-0,087	0,244
	Fascia	284,25±42,90	334,75±150,41	279±55,8	276,50±251,5	-0,002	0,981
	Cartilage	285,76±47,63	268,13±19,72	279±55,8	269±38,1	-0,055	0,462
	Ménisque	283,88±42,93	337,60±127,68	278,75±56	310±190	0,058	0,440
	Périoste	285,59±47,57	275,50±31,79	279±52	269±58,8	-0,022	0,766
	Entorse	281,97±47,15	294,51±46,74	274,75±56,6	285±52,5	0,124	0,097
	Fracture	284,78±48,25	291,47±35,88	277±58,3	290,50±52	0,080	0,284
	Autre	284,91±47,46	291,27±45,71	276,25±56,9	286±62,8	0,053	0,475
GN LAT	Tendon	304,62±53,99	326,70±64,74	292,50±66	296,75±114	0,076	0,307
	Ligament	298,38±47,38	320,87±64,85	287±66,8	303±703	0,152	0,041
	Muscle	306,76±54,82	290±51,94	293±62,5	279±105,1	-0,083	0,266
	Fascia	305,61±54,92	315,75±46,49	292,50±66,8	305,75±86,8	0,036	0,627
	Cartilage	306,56±55	273,88±18,89	293±66,3	279±35,1	-0,099	0,184
	Ménisque	305,48±54,95	318,50±46,11	292,50±64,5	324,50±88	0,057	0,445
	Périoste	306,23±55,01	288,50±36,46	292,50±66,3	289,50±69,8	-0,042	0,577
	Entorse	300,20±48,49	321,03±66,81	288,75±65,8	303±69	0,128	0,085
	Fracture	306,27±55,38	301,38±47,96	293±71,3	291,25±38,8	-0,017	0,817
	Autre	304,89±55,06	318,08±49,48	292,25±63,1	310±83,8	0,078	0,298
TA	Tendon	634,20±113,81	713,90±83,55	638,50±147	719,25±155,4	0,169	0,023
	Ligament	626,99±119,83	662±96,77	629±172,3	653,75±115,5	0,151	0,043
	Muscle	639,78±114,68	618,50±96,97	641±146,5	611,50±134,5	-0,047	0,534
	Fascia	639,02±114,87	620,13±16,13	642±146,3	627,75±25,4	-0,041	0,584
	Cartilage	637,53±114,31	685,75±72,32	640±144,5	693,50±136,8	0,070	0,346
	Ménisque	636,46±113,85	713,70±82,61	639,50±143,5	675,50±152,5	0,115	0,125
	Périoste	636,10±113,64	749,38±22,22	639±142,5	748±41,9	0,174	0,019
	Entorse	631,20±116,25	658,56±104,82	638,75±116,25	653,50±120,3	0,105	0,159
	Fracture	635,30±116,53	672,66±71,75	639±147,5	665,50±126,6	0,103	0,169
	Autre	638,13±111,29	644,65±145,98	640,75±141,3	612±248	0,021	0,776
FP	Tendon	460,98±75,48	459,75±92,13	451±86,5	425,75±108,9	-0,033	0,656
	Ligament	460,72±75,23	461,28±78,75	445±89	451±86	-0,015	0,845
	Muscle	461,36±76,55	453,15±73,23	450±87	462,25±110	0,013	0,856
	Fascia	460,55±76,32	476,88±79,05	450±86,5	473,25±143,9	0,028	0,704
	Cartilage	461,59±76,36	430,63±71,02	450±88	432,23±137,4	-0,056	0,450
	Ménisque	459,26±75,78	518,90±75,59	448,75±79,4	510,50±127,5	0,130	0,080
	Périoste	461,19±76,93	448,63±30,97	450±92,5	446±59,6	-0,005	0,946
	Entorse	459,62±74,94	464,38±80,17	444,50±94,9	452±64,8	0,018	0,814
	Fracture	462,35±77,75	446,06±57,61	452±92	436,50±56,8	-0,058	0,442
	Autre	458,33±75,11	494,23±85,37	448,75±76,8	493,50±138,5	0,111	0,137

N/m, Newton par mètre

Données exprimées en moyenne, écart-type (gris clair) ; médiane, écart interquartile (gris foncé)

Seuil de significativité, ≤0,05

**Tableau 13.** Analyse descriptive et corrélation des raideurs musculo-tendineuses avec le type d'activité physique

		Raideurs des segments jambiers (N/m)			
	AP	Moyenne	Médiane	Spearman	P-value
TR	Course	558,51±88,89	550,50±93,9	-0,074	0,322
	R-M	563,32±98,12	550,50±119,6	-0,054	0,474
	Marche	582,33±138,56	569,50±161,3	0,034	0,649
	Vélo	595,68±96,87	570,75±137,4	0,096	0,199
	Danse	583,96±103,78	579±119,4	0,037	0,623
	Natation	609,43±128,96	581,50±163,3	0,082	0,274
	JDR	574,22±101,22	567,75±169,1	0,012	0,869
	Hockey	570,29±109,68	548±135,5	-0,018	0,805
	Football	571,03±59,72	577±68,9	0,027	0,719
GN MED	Course	284,30±39,89	278±37,9	0,012	0,875
	R-M	283,85±42,19	279,25±52,5	0,004	0,952
	Marche	298,67±56,82	281±50,5	0,122	0,102
	Vélo	298,37±60,90	297±45,8	0,101	0,175
	Danse	277,78±32,76	277,25±44	-0,046	0,540
	Natation	282,73±37,95	280±40,5	0,021	0,778
	JDR	289,61±45,87	278,75±61,9	0,030	0,685
	Hockey	264,09±32,17	250,50±36	-0,176	0,018
	Football	301,21±49,27	289±71	0,109	0,144
GN LAT	Course	312,09±54,91	301,25±62,1	0,089	0,234
	R-M	303,39±51,79	299,25±67,6	-0,003	0,964
	Marche	311,03±42,87	299±67,3	0,082	0,273
	Vélo	310,32±44,31	290,75±58,3	0,073	0,328
	Danse	285,69±34,81	282±43,4	-0,129	0,084
	Natation	310,48±54,95	297±64,4	0,058	0,438
	JDR	314,97±70,19	303±85,8	0,001	0,992
	Hockey	288,50±52,63	278±38,3	-0,150	0,044
	Football	339,68±61,41	336,50±73,9	0,168	0,024
TA	Course	654,81±103,95	653,75±151,6	0,100	0,179
	R-M	650,79±106,07	651±141,6	0,085	0,256
	Marche	643,86±112,56	645,50±114	0,021	0,777
	Vélo	653,62±109,56	649,50±136,4	0,063	0,403
	Danse	563,50±102,61	566±145,9	-0,273**	<0,001
	Natation	665,25±99,23	689,75±150,6	0,090	0,226
	JDR	677,31±80,77	702±130,3	0,124	0,095
	Hockey	688,91±117,36	698±148,3	0,149	0,045
	Football	681,18±114,53	664,50±197,8	0,099	0,187
FP	Course	451,05±68,70	453±74,8	-0,054	0,469
	R-M	446,90±57,12	438,75±62,3	-0,102	0,171
	Marche	475,06±58,12	467,50±65,8	0,153	0,040
	Vélo	455,18±70,43	451,50±91,8	-0,031	0,680
	Danse	449,33±60,14	425±67,1	-0,080	0,286
	Natation	466,45±61,10	458,75±93	0,047	0,532
	JDR	440,61±48,38	438,50±82,1	-0,076	0,308
	Hockey	457,38±90,77	432,50±67,8	-0,064	0,395
	Football	501,68±55,92	517±95,4	0,207**	0,005

N/m, Newton par mètre

Données exprimées en moyenne, écart-type (gris clair) ; médiane, écart interquartile (gris foncé)

\*\* , ≤0.01 ; sans (\*), ≤0,05

#### 4. Discussion

Notre étude avait pour objectif initial d'analyser l'évolution de la raideur musculo-tendineuse au sein des segments jambiers inférieurs, en se basant sur une évaluation approfondie des données anthropométriques et démographiques de notre échantillon. À travers cette démarche, nous avons cherché à éclaircir les liens potentiels entre les caractéristiques physiques individuelles et la raideur, en mesurant cette dernière sur les structures musculo-tendineuses des segments jambiers inférieurs (TR, GN MED, GN LAT, TA et FP) à l'aide du MyotonPro. Dans cette perspective, nous sommes guidés par l'hypothèse que les variations dans les données anthropométriques des individus auraient une incidence significative sur la raideur musculo-tendineuse, offrant ainsi des perspectives pour la compréhension et la gestion de troubles musculo-tendineux associés aux membres inférieurs. Notre étude s'inscrit dans un ensemble de recherches similaires actuellement menées, ayant pour but d'examiner les raideurs en utilisant le dispositif MyotonPro (19) comme méthode de mesure et donc en utilisant des méthodologies standardisées et validées (1).

Les résultats de cette étude ont mis en évidence une différence significative dans les niveaux de raideur du segment jambier inférieur entre les genres féminin et masculin, avec une raideur moyenne nettement supérieure chez les hommes par rapport aux femmes pour chaque structure mesurée (voir Tableau 3). Les raideurs des tendons d'Achille étaient respectivement de  $698,92 \pm 89,78$  (N/m) et  $590,82 \pm 107,99$  (N/m), avec une p-value de  $<0,001$ . L'étude de Orner et al. (19) a apporté des données intéressantes à ce sujet et leurs statistiques descriptives corroborent nos observations. Ils ont révélé une différence significative de raideur entre les deux genres pour le tendon d'Achille, comme dans les recherches menées par Granata et ses collègues en 2002 (20) qui ont également démontré que les hommes présentaient des valeurs de raideur musculo-tendineuse plus élevées que les femmes. Concernant la tendinopathie, une méta-analyse (21) a révélé l'absence de différence significative dans l'incidence de la tendinopathie d'Achille entre les sexes. Cependant, d'autres analyses ont montré des disparités significatives entre les genres en termes de prévalence de la tendinopathie d'Achille, avec des taux plus élevés chez les hommes que chez les femmes (22,23). Wang et al. (21) ont expliqué que ces études ne parviennent pas toujours à standardiser des facteurs d'impact tels

que l'activité physique et le poids, et Muraoka et al. (24) ont suggéré que les différences observées entre les sexes au niveau des tissus mous sont principalement attribuables à des variations de force musculaire plutôt qu'à des différences de genre.

À propos du vieillissement, nos analyses ont révélé une différence significative entre les différents groupes d'âge pour la raideur du TR ( $p < 0,001$ ) et du FP ( $p = 0,047$ ), soulignant ainsi l'importance de considérer l'âge comme un facteur influençant la raideur musculo-tendineuse. Malgré la non-significativité de nos résultats de la raideur du TA entre les groupes, Waugh et al. (25) ont évoqué une corrélation entre la raideur du tendon d'Achille et la force musculaire chez les adultes, suggérant que l'augmentation de la raideur avec l'âge pourrait refléter une adaptation du tendon pour prévenir les blessures dues à une augmentation de la charge musculaire. De plus, les résultats de Wang et al. (21) ont montré que le risque de tendinopathie d'Achille était plus élevé chez les personnes âgées de plus de 45 ans (8 %) et plus faible chez les personnes de moins de 18 ans (2 %). Ces constats appuient les conclusions de Longo UG et al. (26), qui ont évoqué la subtilité de cette relation en distinguant deux aspects : l'effet de l'âge sur les changements à l'intérieur du tendon lui-même et son rôle dans la prédisposition à la tendinopathie. Bien que les tendons deviennent plus rigides avec l'âge, ce phénomène ne se traduit pas automatiquement par un risque accru de tendinopathie chez les personnes âgées qui subissent généralement des charges tendineuses plus modérées (26).

Concernant les différentes catégories de poids, nos résultats ont mis en évidence une différence significative ( $p < 0,001$ ) pour la raideur du TA, des GN MED et LAT et du FP. Cette découverte s'inscrit dans la continuité des recherches antérieures qui ont examiné la relation entre le poids corporel, la force musculaire et la raideur du TA. Muraoka et al. (24) ont souligné que les individus dotés d'une plus grande force musculaire présentent un stockage maximal d'énergie élastique supérieur dans les tendons, pouvant potentiellement influencer la raideur du tendon d'Achille. Cependant, deux études (27,28) ont suggéré que les charges répétitives sur le tendon d'Achille pendant la locomotion ne modifient pas nécessairement sa raideur, suggérant que la durée des charges sur le tendon pendant la locomotion est peut-être trop courte pour induire une raideur significative. Quant à lui, l'article de Longo UG et al. (26) a mis en évidence une association entre un tour de taille plus élevé et une augmentation de la prévalence de la tendinopathie rotulienne, suggérant que les

tendinopathies pourraient augmenter avec l'accumulation de tissu adipeux. Cependant, notre étude n'a pas révélé d'association entre la tendinopathie d'Achille, la taille et le poids des individus de notre échantillon. En intégrant ces résultats à notre discussion, il apparaît que le poids corporel puisse influencer la raideur du tendon d'Achille, mais d'autres facteurs tels que la force musculaire et la durée des charges sur le tendon pendant la locomotion doivent également être pris en considération. De plus, l'association entre le poids corporel et la tendinopathie d'Achille reste complexe et nécessite une exploration approfondie dans des études futures.

La taille a été identifiée dans nos résultats comme un facteur potentiellement influençant sur la raideur du TA et des GN MED et LAT, révélant une différence significative ( $p < 0,001$ ) entre les groupes, suggérant ainsi une possible influence de la taille sur la raideur musculo-tendineuse. Des études antérieures telles que celles de Van Ginckel et al. et Milgrom et al. (29,30) n'ont pas détecté de différence significative entre les groupes avec et sans tendinopathie d'Achille ( $r = 0,453$ ,  $p = 0,652$ ). Il est important de souligner que malgré de nombreuses recherches dans ce domaine, aucune étude préalable n'a spécifiquement tenté de corrélérer la taille avec la raideur du TA. Par conséquent, notre étude est la première à mettre en lumière une corrélation sur ce point précis. Bien que nos résultats aient suggéré une association entre la taille des individus et la raideur du TA, il est prématuré d'affirmer ou d'infirmier que la taille a effectivement un impact sur sa raideur.

L'Indice de Masse Corporelle (IMC) n'a pas été identifié comme un facteur potentiellement lié à la raideur du TA ( $p = 0,011$ ) selon nos résultats. Van der Vlist (31) a fourni des informations sur cette relation et a évoqué l'existence de preuves mitigées quant à l'association entre l'IMC et le TA. Par exemple, Owens et al. (32) ont suggéré que le surpoids et l'obésité pourraient être liés à un risque accru de tendinopathie d'Achille. Cependant, des contradictions persistent, notamment avec l'étude de Wang et al. (21), qui n'a pas trouvé d'association entre le surpoids et la tendinopathie d'Achille, en accord avec les résultats de Longo UG et al. (26). Il est également important de noter que la plupart des études examinant l'IMC comme facteur de risque se sont concentrées sur des populations adolescentes, où le surpoids est moins répandu. Par ailleurs, l'article de Morgan et al. (33) met en évidence l'influence potentielle de l'âge, du sexe et de l'IMC sur les propriétés mécaniques du tendon, principalement chez les personnes atteintes de

tendinopathie. Bien que notre étude ait démontré une corrélation entre l'IMC et la raideur du TA, les résultats divergents des études précédentes soulignent la complexité de la relation entre l'IMC et la tendinopathie d'Achille, suggérant qu'elle peut être influencée par une multitude de facteurs, notamment la force musculaire et d'autres variables anatomiques et physiologiques.

Notre étude s'est également attardée sur l'analyse des raideurs des segments jambiers inférieurs, avec comme deuxième objectif de déterminer un potentiel lien entre elles et la prévalence des pathologies musculo-tendineuses, en particulier la tendinopathie d'Achille. À cet égard, nous avons formulé plusieurs hypothèses, dont la première visant à éclairer les interactions complexes entre la raideur, les antécédents de blessure et les habitudes sportives. Notre deuxième hypothèse suggère que les raideurs des segments jambiers inférieurs pourraient être influencées par les antécédents de blessure, ouvrant ainsi la voie à une meilleure compréhension des facteurs de risque associés aux troubles musculo-tendineux. La troisième hypothèse explore la possibilité que l'analyse d'une raideur excessive ou insuffisante puisse servir d'outil de prévention contre les blessures musculo-tendineuses, offrant des perspectives novatrices dans le domaine de la prévention et de la réadaptation. Enfin, notre quatrième hypothèse examine l'impact du type d'activité physique et de la fréquence à laquelle celle-ci est pratiquée, sur les raideurs, essayant de mettre en évidence l'importance des comportements individuels dans la modulation de la santé musculo-tendineuse. En explorant ces hypothèses au sein de notre étude, nous aspirons à élargir notre compréhension des mécanismes sous-jacents aux pathologies musculo-tendineuses du segment jambier inférieur, ouvrant ainsi la voie à des approches de prévention et de gestion plus ciblées et efficaces.

Bolivar et al. (34) ont observé une tension accrue des muscles postérieurs du membre inférieur chez les patients atteints de fasciite plantaire par rapport au groupe témoin en bonne santé. Cette raideur musculaire a été identifiée comme un facteur limitant le mouvement de la cheville (35), ce qui peut conduire à une pronation excessive de l'articulation sous-talienne et, par conséquent, à une tension accrue dans le fascia plantaire. Ces résultats soulignent l'importance d'explorer la relation entre les antécédents de pathologies musculo-tendineux et les niveaux de raideur dans nos segments jambiers. Pour cette analyse, 43 % de notre population

n'ont pas signalé d'antécédents de blessures au niveau du quadrant inférieur, tandis que 56 % en ont déclaré. En examinant les moyennes ou médianes des raideurs dans différentes zones, nous avons observé une tendance à l'augmentation des valeurs en fonction de la présence d'antécédents de blessures, résultats significatifs constatés pour les gastrocnémiens médiaux et latéraux et le tendon d'Achille. Cependant, une exception notable concerne le tendon rotulien, dont la raideur semble diminuer de manière atypique. Cette corrélation positive suggère une relation potentielle entre la raideur musculo-tendineuse de ces zones spécifiques et l'historique de blessures. Au niveau des différents types d'antécédents, après avoir regroupé les blessures en fonction des structures anatomiques atteintes, nous avons observé que la raideur du tendon d'Achille a montré une corrélation significative avec les antécédents de blessure au niveau des structures tendineuses ( $r=0,169$ ,  $p=0,023$ ), ligamentaires ( $r=0,151$ ,  $p=0,043$ ) et du périoste ( $r=0,174$ ,  $p=0,019$ ).

Une différence de raideurs entre les individus avec et sans antécédent de tendinopathie d'Achille est observable, avec une diminution des raideurs moyennes globale, à l'exception du tendon d'Achille, où elle semble augmenter en cas d'antécédent de tendinopathie d'Achille (635,95 N/m contre 731,80 N/m). Ces résultats suggèrent un lien potentiel entre ces deux variables, bien que des études supplémentaires soient nécessaires pour confirmer cette relation.

Selon la courbe de déformation contrainte, un étirement supérieur à 4 % peut entraîner des micro-ruptures, induisant des modifications de la structure tendineuse qui l'empêchent de revenir à sa longueur initiale. Au-delà de 8-10 % d'étirement, des ruptures macroscopiques du tendon peuvent être observées (36). Cette compréhension des mécanismes de déformation du tendon pourrait éclairer davantage la relation entre la raideur du TA et les antécédents de tendinopathie d'Achille. Dans l'étude de Lieberthal (37) visant à déterminer l'impact de la pathologie du TA sur les schémas de charge des membres inférieurs chez les coureurs, les résultats ont montré qu'aucune différence de raideur des jambes n'a été observée entre les coureurs asymptomatiques et ceux sans antécédents. Cependant, une raideur active réduite de l'articulation de la cheville a été constatée chez les coureurs présentant une tendinopathie d'Achille symptomatique. De plus, les coureurs de fond masculins asymptomatiques présentaient une incidence élevée de pathologies tendineuses, avec la charge cumulée de course associée aux changements tendineux. Ces résultats suggèrent que la présence de pathologie du

tendon d'Achille sans symptômes n'affecte pas les schémas de charge des membres inférieurs, mais une raideur active réduite de la cheville peut contribuer à la récurrence de la tendinopathie d'Achille.

Pendant l'étude, 11 participants ont déclaré avoir subi un traumatisme musculo-squelettique au niveau des jambes, et nous avons constaté des niveaux de raideur généralement plus bas chez les participants ayant signalé une blessure, en accord avec les études de Morgan et al. (33) et de Lieberthal (37), à l'exception des GN MED. Malheureusement, ces observations ne sont pas transposables dans la population car ces données sont basées sur un taux de réponse positive très faible, ce qui a limité l'analyse statistique. En tenant compte de ces limitations, il est difficile de soutenir l'hypothèse selon laquelle l'analyse des raideurs peut servir de facteur prédictif fiable de pathologie.

Les découvertes de l'étude menée par Orner et al. (19) révèlent une corrélation significative entre les côtés gauche et droit pour les cinq paramètres biomécaniques mesurés par MyotonPRO (*fréquence fondamentale (Hz), fréquence naturelle de vibration des tissus, qui est associée à leur rigidité ; l'amplitude (mm), distance maximale parcourue par la vibration des tissus lors de leur compression ; le temps de déformation (ms), durée nécessaire pour que les tissus atteignent leur amplitude maximale lors de la vibration ; la déformation (mm), mesure de la déformation maximale des tissus sous la contrainte de la vibration ; et la raideur (N/m), résistance des tissus à la compression*) pour le TA et le FP. Ces relations biomécaniques ouvrent potentiellement de nouvelles perspectives dans le diagnostic et la thérapie de la fasciite plantaire et de la tendinopathie d'Achille. Les résultats de l'étude de Longo UG et al. (26) viennent renforcer l'importance de l'analyse de la raideur tendineuse dans la compréhension de la pathologie du FP car leur conclusion met en évidence que la raideur tendineuse peut servir d'indicateur précieux de la situation clinique des patients atteints de FP. De plus, le FP des patients souffrant de fasciite plantaire était significativement plus épais que celui des témoins, soulignant ainsi l'importance de surveiller la raideur passive du tendon pour évaluer la gravité de la maladie et orienter le traitement.

En 2020, Chang et al. (38) ont examiné les effets d'une charge chronique sur les propriétés mécaniques des tendons et des muscles chez des joueurs de basket-ball amateurs. Ils ont constaté que la raideur du TA et des GN était plus élevée chez les joueurs de basket-ball que chez les non-sportifs en général. Nos résultats ainsi que

d'autres études prospectées suggèrent une relation plus ou moins étroite entre les raideurs musculo-tendineuses et certaines zones anatomiques selon les habitudes sportives et l'historique de blessure de chacun.

Concernant la fréquence de pratique sportive, nos résultats ont révélé une augmentation des raideurs moyennes du TA et du GN MED avec l'augmentation de la fréquence d'activité physique hebdomadaire. Des recherches antérieures ont souligné l'importance des contraintes de force auxquelles est soumis le tendon d'Achille lors des activités quotidiennes (39). Sa raideur joue un rôle essentiel dans la transmission efficace de la force musculaire et la génération de mouvements (40). Nos résultats corroborent ces conclusions, notamment celles de Chang et al. (38), qui ont observé une raideur supérieure des GN et du TA chez les basketteurs amateurs par rapport aux non-sportifs. Longo UG et al. (26) ont signifié une augmentation des blessures liées au surmenage dans le sport, attribuée à une plus grande participation et à une intensification de l'entraînement, et que cette tendance est en corrélation avec la hausse de la prévalence de la tendinopathie d'Achille.

Il a aussi été constaté que les pathologies asymptomatiques du TA étaient significativement plus fréquentes chez les personnes ayant un long antécédent de course à pied (37), ce qui est intéressant concernant l'adaptation tissulaire.

Les résultats obtenus dans notre étude montrent aussi une adaptation des raideurs selon le sport pratiqué. Par exemple, chez les joueurs de hockey, l'analyse des raideurs révèle une moyenne de 688,91 N/m pour le TA, une médiane de 264,09 N/m pour le GN MED et de 288,50 N/m pour le GN LAT, avec une corrélation significative de ( $r=0,149$ ,  $p=0,045$ ), ( $r=-0,176$ ,  $p=0,018$ ) et de ( $r=-0,150$ ,  $p=0,044$ ) respectivement. Ces corrélations pourraient être associées à une contrainte plus élevée sur les muscles et les tendons lors de mouvements spécifiques au hockey, sport caractérisé par des phases de haute intensité et des périodes de basse intensité, combinées à des accélérations continues, des décélérations et des changements de direction (41). Ces résultats coïncident avec les travaux de Wren et al. et Dayton (42,43) qui soulignent l'importance des contraintes musculo-tendineuses lors du saut, qui sont près de trois fois supérieure à celle exercée dans des conditions de marche, et près de douze fois le poids du corps pendant la course. Cependant, les recherches de Cristi Sanchez et al. (44) remettent en question une relation directe entre la rigidité du TA et les performances, expliquant la sophistication du

complexe muscle-tendon du triceps sural et sa fonction de stockage et de libération de l'énergie élastique.

Les observations concernant le TA révèlent une raideur moyenne de 563,50 N/m pour les danseurs pratiquant le Pomdance, bien que nous ayons utilisé le terme "danse" pour simplifier la compréhension, il faut savoir que cette discipline est un mélange complexe de gymnastique et de danse classique, combinant des éléments nécessitant de la propulsion tels que les sauts, les grands écarts jetés et les pirouettes. Nilsson et al. et Silbernagel et al. (45,46) ont indiqué que la pratique du ballet implique des mouvements répétitifs et des positions non physiologiques, entraînant des charges élevées sur le quadrant inférieur, et augmentant ainsi le risque de blessures de surmenage. En effet, la tendinopathie d'Achille est fréquente chez les danseurs de ballet en raison des sauts répétés et du travail du pointé (14,47). Les résultats de Wang et al. (21) ont mis en évidence une prévalence accrue de la tendinopathie d'Achille chez les pratiquants de gymnastique, renforçant ainsi l'idée que les activités impliquant des mouvements répétitifs et des charges élevées peuvent augmenter le risque d'atteinte du TA en cas de blessure.

Les raideurs moyennes du FP chez les footeux (501,68 N/m) et les marcheurs (475,06 N/m) s'avèrent majorées vis à vis des autres activités physique pour cette même structure. Cette observation rejoint la conclusion d'une étude antérieure menée par Erdemir et al. (48) qui montre l'importance du fascia plantaire dans la transmission de force du tendon d'Achille à l'avant-pied lors de la phase d'appui de la marche. Les recherches de Sakalauskaite et al. (49) ont relevé une corrélation entre la rigidité du TA et la pratique sportive chez les participants pratiquant le même sport. Toutefois, il est crucial de noter que les échantillons utilisés dans ces études varient considérablement en termes de niveau de pratique et d'intensité. L'étude de Cristi Sanchez et al. (44) a montré une raideur moyenne du TA de  $1075 \pm 100,8$  N/m chez les athlètes et de  $1098 \pm 139,5$  N/m chez le groupe témoin. Cette différence pourrait s'expliquer par les effets de l'entraînement et de la pratique sportive compétitive sur la raideur du TA (49). À noter que la moyenne concernant la raideur du TA dans leur échantillon s'avère supérieure à la nôtre, suggérant que les caractéristiques de la population étudiée sont des éléments importants à prendre en compte dans l'analyse et la comparaison d'études menées sur la même thématique. D'ailleurs, nos résultats sont limités en raison de la diversité de la population étudiée, incluant des participants pratiquant différents sports comme le

hockey, la danse et le football, avec des représentations variant entre 8 et 13 %. De plus, l'intensité et la durée de pratique sportive sont très hétérogènes. Cette diversité complique les comparaisons avec les autres études, qui se concentrent souvent sur des populations spécifiques ou des disciplines sportives particulières.

Notre recherche a révélé des moyennes et des médianes peu différenciées entre le côté droit et gauche pour les raideurs, sans corrélation significative avec la dominance du côté pour chaque structure. Hors, Cristi-Sanchez et al. (26) ont rapporté des différences significatives de raideur du PT et TA entre les membres dominants et non dominants dans chaque groupe étudié, entre les sportifs d'élite et le groupe témoin. Toutefois, aucune différence significative n'a été trouvée pour la raideur du TA entre les groupes d'athlètes d'élite et les témoins. Ces résultats suggèrent une adaptation homogène des tendons au fil du temps chez les athlètes de football d'élite, ce qui peut améliorer la transmission de force et les performances sportives. Toutefois, À l'opposé des conclusions de ces articles, Chang et al. (38) n'ont trouvé aucune différence de rigidité des GN MED, GN LAT et le TA entre les côtés non dominant et dominant ( $p > 0,05$ ). Les travaux d'Albracht et al. et de Toumi et al. (51,52) ont notifié l'existence de différences architecturales et fonctionnelles entre les GN MED et LAT, le premier fournissant deux fois plus de force musculaire que le second. Un déséquilibre trop important entre les GN MED et GN LAT pourrait favoriser l'apparition de tendinopathies ou de douleurs au niveau du tendon d'Achille (53).

De plus, des études utilisant le MyotonPro ont mis en évidence des corrélations significatives entre les raideurs du TA et du FP des deux côtés, illustrant leur relation positive en termes de raideur biomécanique. Ainsi, plus le tonus du TA est élevé, plus le tonus augmente dans le fascia plantaire et vice versa (19,49,54). Bien que notre étude n'ait pas trouvé de différences significatives de raideur entre les côtés en fonction de la dominance, nous savons l'importance de prendre en compte les spécificités et les habitudes de chaque individu dans l'évaluation des raideurs musculo-tendineuses.

#### **4.1. Limitations**

Nous avons rencontré plusieurs limitations pendant notre étude. La composition de notre échantillon est majoritairement constituée de personnes de notre entourage, principalement actives et proches de la trentaine. Cette homogénéité limite la généralisation des résultats à d'autres groupes démographiques.

Les mesures ont été prises par différents investigateurs, ce qui peut avoir introduit des variations dans la manière d'utiliser le MyotonPro, bien que cet outil soit réputé pour sa fiabilité. Des limitations techniques, telles que la variabilité de la pression appliquée et de la position de l'appareil, ainsi que des facteurs comme la masse graisseuse et les variations de température des participants, peuvent influencer la viscoélasticité des tissus, affectant ainsi la précision des mesures.

Les effectifs réduits, en raison d'un faible taux de réponse des participants et d'un taux élevé de non-réponse, ont parfois limité la puissance statistique de notre analyse. Nos résultats ont été comparés à des études portant sur des populations spécifiques ou des sports particuliers, ce qui rend plus délicat la généralisation de nos résultats à d'autres contextes. Il est donc important d'interpréter nos conclusions avec prudence et de les considérer à des fins informatives.

#### **4.2. Perspectives cliniques**

À notre connaissance, aucune étude n'a encore quantifié la raideur musculotendineuse et analysé son évolution sur un aussi large éventail de facteurs, allant des caractéristiques morphologiques personnelles aux habitudes sportives des participants. Nos résultats suscitent un nouvel intérêt et une meilleure compréhension de la raideur biomécanique des segments jambiers inférieurs, offrant une base de comparaison pour d'autres recherches à venir. Ils pourraient également être utilisés pour visualiser les variations de raideur en fonction des données anthropométriques, des antécédents de blessures et des activités physiques pratiquées. Cette étude pourrait fournir d'appui à la quantification des raideurs et ainsi guidé la rééducation des tendinopathies et autres blessures musculotendineuses.

## 5. Conclusion

Cette étude a fourni une analyse approfondie de la raideur musculo-tendineuse, mettant en évidence plusieurs tendances significatives et des associations intéressantes. Les résultats ont révélé une différence de raideur entre les genres, avec une raideur généralement plus élevée chez les hommes, en particulier pour le tendon d'Achille. Des différences significatives ont été observées entre les groupes d'âge, de poids, de taille et d'IMC et les raideurs moyennes. Les antécédents de blessures ont été divisés en deux groupes et analysés, montrant des différences significatives entre eux pour les raideurs moyennes, notamment pour les muscles gastrocnémiens et le tendon d'Achille.

Par ailleurs, l'activité physique semble influencer ces raideurs avec des variations observées en fonction du nombre de jours d'activité par semaine et du type de sport pratiqué. Cela souligne l'importance de considérer le niveau d'activité physique dans l'évaluation de la raideur musculo-tendineuse et dans la mise en place de programmes de réadaptation et de prévention.

Enfin, bien que des tendances intéressantes concernant les raideurs aient été observées, des analyses plus approfondies sont nécessaires pour améliorer la compréhension des mécanismes biomécaniques et des potentiels facteurs influents. Ces informations pourraient éclairer les pratiques cliniques et sportives, contribuant ainsi à une meilleure prise en charge des problèmes de raideur musculo-tendineuse et à la prévention des blessures associées. Toutefois, le faible taux de blessures survenues pendant l'étude et l'analyse qui en a découlé ne rend pas concluant l'aspect potentiellement préventif de l'analyse des raideurs comme facteur prédictif d'une pathologie musculo-tendineuse.



## 6. Bibliographie

1. Nguyen AP, Detrembleur C, Fiset P, Selves C, Mahaudens P. MyotonPro Is a Valid Device for Assessing Wrist Biomechanical Stiffness in Healthy Young Adults. *Front Sports Act Living*. 21 févr 2022;4:797975.
2. Opar DA, Williams MD, Shield AJ. Hamstring strain injuries: factors that lead to injury and re-injury. *Sports Med Auckl NZ*. 1 mars 2012;42(3):209-26.
3. Miyamoto N, Hirata K, Kanehisa H. Effects of hamstring stretching on passive muscle stiffness vary between hip flexion and knee extension maneuvers. *Scand J Med Sci Sports*. janv 2017;27(1):99-106.
4. Watsford ML, Murphy AJ, McLachlan KA, Bryant AL, Cameron ML, Crossley KM, et al. A prospective study of the relationship between lower body stiffness and hamstring injury in professional Australian rules footballers. *Am J Sports Med*. oct 2010;38(10):2058-64.
5. Maciejewska-Skrendo A, Leźnicka K, Leońska-Duniec A, Wilk M, Filip A, Cięszczyk P, et al. Genetics of Muscle Stiffness, Muscle Elasticity and Explosive Strength. *J Hum Kinet*. 31 août 2020;74:143-59.
6. Baumgart. Stiffness — an unknown world of mechanical science? *Injury*. 1 mai 2000;31:14-84.
7. Brughelli. A review of research on the mechanical stiffness in running and jumping: methodology and implications - Brughelli - 2008 - *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports - Wiley Online Library* [Internet]. 2008 [cité 9 mai 2024]. Disponible sur: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1600-0838.2008.00769.x>
8. Bret. Leg strength and stiffness as ability factors in 100 m sprint running - ProQuest [Internet]. 2002 [cité 9 mai 2024]. Disponible sur: <https://www.proquest.com/openview/f42101f488962f726d7c67b160bc3e38/1?pq-origsite=gscholar&cbl=4718>
9. Pozarowszczyk. Sports | Free Full-Text | The Impact of Post Activation Potentiation on Achilles Tendon Stiffness, Elasticity and Thickness among Basketball Players [Internet]. 2018 [cité 9 mai 2024]. Disponible sur: <https://www.mdpi.com/2075-4663/6/4/117>
10. Dumke CL, Pfaffenroth CM, McBride JM, McCauley GO. Relationship between muscle strength, power and stiffness and running economy in trained male runners. *Int J Sports Physiol Perform*. juin 2010;5(2):249-61.
11. Martin. Achilles Pain, Stiffness, and Muscle Power Deficits: Midportion Achilles Tendinopathy Revision 2018: Clinical Practice Guidelines Linked to the International Classification of Functioning, Disability and Health From the Orthopaedic Section of the American Physical Therapy Association: *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*: Vol 48, No 5 [Internet]. 2018 [cité 30 avr 2024]. Disponible sur: <https://www.jospt.org/doi/10.2519/jospt.2018.0302>
12. Maffulli N, Sharma P, Luscombe KL. Achilles Tendinopathy: Aetiology and Management. *J R Soc Med*. 1 oct 2004;97(10):472-6.
13. Asplund & Best. Achilles tendon disorders | Semantic Scholar [Internet]. 2013 [cité 9 mai 2024]. Disponible sur: <https://www.semanticscholar.org/paper/Achilles-tendon-disorders-Asplund-Best/d12acc3db674f0a37b6f0a321b9073cbdca17d8>
14. Kaiser PB, Keyser C, Crawford AM, Bluman EM, Smith JT, Chiodo CP. A Prospective Randomized Controlled Trial Comparing Physical Therapy With Independent Home Stretching for Plantar Fasciitis. *JAAOS - J Am Acad Orthop Surg*. 15 juill 2022;30(14):682.

15. Sancerne A, Kaux JF. Revue épidémiologique des tendinopathies les plus fréquentes. *J Traumatol Sport*. 1 déc 2015;32(4):223-8.
16. Vesperini V. Les tendinopathies de la cheville et du pied. *Rev Rhum Monogr*. 1 juin 2014;81.
17. Sancho I, Malliaras P, Barton C, Willy RW, Morrissey D. Biomechanical alterations in individuals with Achilles tendinopathy during running and hopping: A systematic review with meta-analysis. *Gait Posture*. sept 2019;73:189-201.
18. Abat F, Alfredson H, Cucchiari M, Madry H, Marmotti A, Mouton C, et al. Current trends in tendinopathy: consensus of the ESSKA basic science committee. Part I: biology, biomechanics, anatomy and an exercise-based approach. *J Exp Orthop*. déc 2017;4(1):18.
19. Orner S. Quantitative tissue parameters of Achilles tendon and plantar fascia in healthy subjects using a handheld myotonometer - PubMed [Internet]. 2017 [cité 12 mai 2024]. Disponible sur: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29332731/>
20. Granata KP, Wilson SE, Padua DA. Gender differences in active musculoskeletal stiffness. Part I: Quantification in controlled measurements of knee joint dynamics. *J Electromyogr Kinesiol*. 1 avr 2002;12(2):119-26.
21. Wang Y, Zhou H, Nie Z, Cui S. Prevalence of Achilles tendinopathy in physical exercise: A systematic review and meta-analysis. *Sports Med Health Sci*. 28 mars 2022;4(3):152-9.
22. Hess GW. Achilles tendon rupture: a review of etiology, population, anatomy, risk factors, and injury prevention. *Foot Ankle Spec*. févr 2010;3(1):29-32.
23. Lantto I. Epidemiology of Achilles tendon ruptures: Increasing incidence over a 33-year period - Lantto - 2015 - *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* - Wiley Online Library [Internet]. 2014 [cité 12 mai 2024]. Disponible sur: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/sms.12253>
24. Muraoka T, Muramatsu T, Fukunaga T, Kanehisa H. Elastic properties of human Achilles tendon are correlated to muscle strength. *J Appl Physiol*. août 2005;99(2):665-9.
25. CM Waugh. Age-related changes in mechanical properties of the Achilles tendon - PubMed [Internet]. 2012 [cité 12 mai 2024]. Disponible sur: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22150089/>
26. Longo UG, Rittweger J, Garau G, Radonic B, Gutwasser C, Gilliver SF, et al. No influence of age, gender, weight, height, and impact profile in achilles tendinopathy in masters track and field athletes. *Am J Sports Med*. juill 2009;37(7):1400-5.
27. Hansen P, Aagaard P, Kjaer M, Larsson B, Magnusson SP. Effect of habitual running on human Achilles tendon load-deformation properties and cross-sectional area. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. déc 2003;95(6):2375-80.
28. Kubo K, Kanehisa H, Fukunaga T. Effects of different duration isometric contractions on tendon elasticity in human quadriceps muscles. *J Physiol*. 15 oct 2001;536(Pt 2):649-55.
29. Van Ginckel A, Thijs Y, Hesar NGZ, Mahieu N, De Clercq D, Roosen P, et al. Intrinsic gait-related risk factors for Achilles tendinopathy in novice runners: A prospective study. *Gait Posture*. 1 avr 2009;29(3):387-91.
30. Milgrom C, Finestone A, Zin D, Mandel D, Novack V. Cold weather training: a risk factor for Achilles paratendinitis among recruits. *Foot Ankle Int*. mai 2003;24(5):398-401.
31. Van der Vlist AC. Clinical risk factors for Achilles tendinopathy: a systematic review - PubMed [Internet]. 2019 [cité 12 mai 2024]. Disponible sur:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30718234/>

32. Owens BD. Risk Factors for Lower Extremity Tendinopathies in Military Personnel - Brett D. Owens, Jennifer Moriatis Wolf, Amber D. Seelig, Isabel G. Jacobson, Edward J. Boyko, Besa Smith, Margaret A.K. Ryan, Gary D. Gackstetter, Tyler C. Smith, , for the Millennium Cohort Study Team, for the Millennium Cohort Study Team, Melissa Bagnell, Gina Creaven, Nancy Crum-Cianflone, James Davies, Nisara Granado, Dennis Hernando, Jaime Horton, Kelly Jones, Cynthia LeardMann, William Lee, Michelle Linfesty, Gordon Lynch, Hope McMaster, Sheila Medina-Torne, Amanda Pietrucha, Teresa Powell, Kari Sausedo, Beverly Sheppard, Katherine Snell, Steven Speigle, Martin White, James Whitmer, Charlene Wong, 2013 [Internet]. 2013 [cité 14 mai 2024]. Disponible sur: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/2325967113492707>
33. Morgan G. Objective assessment of stiffness in the gastrocnemius muscle in patients with symptomatic Achilles tendons - PMC [Internet]. 2019 [cité 12 mai 2024]. Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6830464/>
34. Bolívar YA. Relationship between tightness of the posterior muscles of the lower limb and plantar fasciitis - PubMed [Internet]. 2013 [cité 13 mai 2024]. Disponible sur: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23386760/>
35. Rome K. Risk factors associated with the development of plantar heel pain in athletes - ScienceDirect [Internet]. 2001 [cité 13 mai 2024]. Disponible sur: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958259201906984>
36. Wavreille G. EM-Consulte. 2008 [cité 30 avr 2024]. Tendon normal : anatomie, physiologie. Disponible sur: <https://www.em-consulte.com/article/179613/figures/tendon-normal-anatomie-physiologie>
37. Lieberthal K. The impact of Achilles tendon pathology on lower limb joint stiffness regulation during hopping tasks. In [object Object]; 2015 [cité 13 mai 2024]. Disponible sur: <http://researchbank.acu.edu.au/theses/534>
38. Chang TT, Li Z, Wang XQ, Zhang ZJ. Stiffness of the Gastrocnemius–Achilles Tendon Complex Between Amateur Basketball Players and the Non-athletic General Population. *Front Physiol.* 10 déc 2020;11:606706.
39. Komi PV. Relevance of in vivo force measurements to human biomechanics. *J Biomech.* 1990;23 Suppl 1:23-34.
40. Matijevich E, Branscombe L, Scott L, Zelik K. Ground reaction force metrics are not strongly correlated with tibial bone load when running across speeds and slopes: Implications for science, sport and wearable tech. *PLOS ONE.* 17 janv 2019;14:e0210000.
41. McGuinness A, Malone S, Hughes B, Collins K, Passmore D. Physical Activity and Physiological Profiles of Elite International Female Field Hockey Players Across the Quarters of Competitive Match Play. *J Strength Cond Res.* sept 2019;33(9):2513-22.
42. Wren TAL. Mechanical properties of the human achilles tendon - ScienceDirect [Internet]. 2001 [cité 13 mai 2024]. Disponible sur: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268003300000899>
43. Dayton P. Anatomic, Vascular, and Mechanical Overview of the Achilles Tendon. *Clin Podiatr Med Surg.* avr 2017;34(2):107-13.
44. Cristi-Sánchez I, Danes-Daetz C, Neira A, Ferrada W, Yáñez Díaz R, Silvestre Aguirre R. Patellar and Achilles Tendon Stiffness in Elite Soccer Players Assessed Using Myotonometric Measurements. *Sports Health.* 2019;11(2):157-62.
45. Nilsson C, Leanderson J, Wykman A, Strender LE. The injury panorama in a Swedish professional ballet company. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 1 juill 2001;9(4):242-6.

46. Silbernagel KG, Thomeé R, Thomeé P, Karlsson J. Eccentric overload training for patients with chronic Achilles tendon pain--a randomised controlled study with reliability testing of the evaluation methods. *Scand J Med Sci Sports*. août 2001;11(4):197-206.
47. Sobrino FJ. Overuse Injuries in Professional Ballet: Injury-Based Differences Among Ballet Disciplines - Francisco José Sobrino, Crótida de la Cuadra, Pedro Guillén, 2015 [Internet]. 2015. Disponible sur: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/2325967115590114>
48. Erdemir A, Hamel AJ, Fauth AR, Piazza SJ, Sharkey NA. Dynamic loading of the plantar aponeurosis in walking. *J Bone Joint Surg Am*. mars 2004;86(3):546-52.
49. Sakalauskaitė R, Satkunskienė D. 899. The foot arch and viscoelastic properties of plantar fascia and Achilles tendon. . *VOLUME*. 2012;14(4).
50. Pożarowszczyk B, Pawlaczyk W, Smoter M, Zarzycki A, Mroczek D, Kumorek M, et al. Effects of Karate Fights on Achilles Tendon Stiffness Measured by Myotonometry. *J Hum Kinet*. févr 2017;56:93-7.
51. Albracht K. Plasticity of human Achilles tendon mechanical and morphological properties in response to cyclic strain - ScienceDirect [Internet]. 2008. Disponible sur: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021929010004471?via%3Dihub>
52. Toumi H, Lerguech G, Cherief M, Batakis A, Hambli R, Jennane R, et al. Implications of the calf musculature and Achilles tendon architectures for understanding the site of injury. *J Biomech*. 3 mai 2016;49(7):1180-5.
53. Grimaldi A, Mellor R, Hodges P, Bennell K, Wajswelner H, Vicenzino B. Gluteal Tendinopathy: A Review of Mechanisms, Assessment and Management. *Sports Med*. 1 août 2015;45(8):1107-19.
54. Pruyne EC, Watsford ML, Murphy AJ. Differences in lower-body stiffness between levels of netball competition. *J Strength Cond Res*. mai 2015;29(5):1197-202.

## 7. Annexes

### 7.1. Annexe 1 : ANOVA à 1 facteur. Données anthropométriques

**Tableau 4.**

		Tailles d'effet ANOVA <sup>a,b</sup>		
		Estimation des points	95% Intervalle de confiance	
			Inférieur	Supérieur
Raideur Tendon rotulien	Eta carré	,164	,054	,238
	Epsilon carré	,135	,021	,212
	Omega carré à effet fixe	,135	,021	,211
	Omega carré à effet aléatoire	,025	,004	,043
Raideur Gastro. Médial	Eta carré	,041	,000	,078
	Epsilon carré	,007	-,034	,046
	Omega carré à effet fixe	,007	-,034	,046
	Omega carré à effet aléatoire	,001	-,006	,008
Raideur Gastro. Latéral	Eta carré	,011	,000	,017
	Epsilon carré	-,023	-,034	-,017
	Omega carré à effet fixe	-,023	-,034	-,017
	Omega carré à effet aléatoire	-,004	-,006	-,003
Raideur Tendon d'Achille	Eta carré	,057	,000	,104
	Epsilon carré	,025	-,034	,073
	Omega carré à effet fixe	,025	-,034	,073
	Omega carré à effet aléatoire	,004	-,006	,013
Raideur Fascia plantaire	Eta carré	,070	,000	,123
	Epsilon carré	,038	-,034	,092
	Omega carré à effet fixe	,038	-,034	,092
	Omega carré à effet aléatoire	,007	-,006	,017

a. Les valeurs éta carré et epsilon carré sont estimées en fonction du modèle à effet fixe.

b. Des estimations négatives mais moins biaisées sont conservées, sans être arrondies à zéro.

**Tableau 5.**

		Tailles d'effet ANOVA <sup>a,b</sup>		
		Estimation des points	95% Intervalle de confiance	
			Inférieur	Supérieur
Raideur Tendon rotulien	Eta carré	,021	,000	,042
	Epsilon carré	-,013	-,034	,008
	Omega carré à effet fixe	-,013	-,034	,008
	Omega carré à effet aléatoire	-,002	-,006	,001
Raideur Gastro. Médial	Eta carré	,213	,092	,291
	Epsilon carré	,186	,061	,266
	Omega carré à effet fixe	,185	,061	,265
	Omega carré à effet aléatoire	,036	,011	,057
Raideur Gastro. Latéral	Eta carré	,313	,183	,392
	Epsilon carré	,289	,155	,371
	Omega carré à effet fixe	,288	,155	,370
	Omega carré à effet aléatoire	,063	,030	,089
Raideur Tendon d'Achille	Eta carré	,206	,087	,284
	Epsilon carré	,179	,055	,259
	Omega carré à effet fixe	,178	,055	,258
	Omega carré à effet aléatoire	,035	,010	,055
Raideur Fascia plantaire	Eta carré	,289	,161	,369
	Epsilon carré	,265	,132	,347
	Omega carré à effet fixe	,264	,131	,346
	Omega carré à effet aléatoire	,056	,025	,081

a. Les valeurs éta carré et epsilon carré sont estimées en fonction du modèle à effet fixe.

b. Des estimations négatives mais moins biaisées sont conservées, sans être arrondies à zéro.

**Tableau 6.**

**Tailles d'effet ANOVA<sup>a,b</sup>**

		Estimation des points	95% Intervalle de confiance	
			Inférieur	Supérieur
Raideur Tendon rotulien	Eta carré	,005	,000	,015
	Epsilon carré	-,017	-,023	-,007
	Omega carré à effet fixe	-,017	-,023	-,007
	Omega carré à effet aléatoire	-,004	-,006	-,002
Raideur Gastro. Médial	Eta carré	,195	,087	,281
	Epsilon carré	,177	,067	,265
	Omega carré à effet fixe	,176	,066	,263
	Omega carré à effet aléatoire	,051	,017	,082
Raideur Gastro. Latéral	Eta carré	,267	,150	,355
	Epsilon carré	,251	,130	,340
	Omega carré à effet fixe	,250	,130	,339
	Omega carré à effet aléatoire	,077	,036	,113
Raideur Tendon d'Achille	Eta carré	,222	,110	,309
	Epsilon carré	,205	,090	,293
	Omega carré à effet fixe	,204	,089	,292
	Omega carré à effet aléatoire	,060	,024	,094
Raideur Fascia plantaire	Eta carré	,049	,000	,105
	Epsilon carré	,028	-,023	,084
	Omega carré à effet fixe	,028	-,023	,084
	Omega carré à effet aléatoire	,007	-,006	,022

a. Les valeurs éta carré et epsilon carré sont estimées en fonction du modèle à effet fixe.

b. Des estimations négatives mais moins biaisées sont conservées, sans être arrondies à zéro.

**Tableau 7.**

**Tailles d'effet ANOVA<sup>a,b</sup>**

		Estimation des points	95% Intervalle de confiance	
			Inférieur	Supérieur
Raideur Tendon rotulien	Eta carré	,013	,000	,048
	Epsilon carré	-,003	-,017	,032
	Omega carré à effet fixe	-,003	-,017	,032
	Omega carré à effet aléatoire	-,001	-,006	,011
Raideur Gastro. Médial	Eta carré	,128	,041	,210
	Epsilon carré	,113	,025	,197
	Omega carré à effet fixe	,112	,025	,196
	Omega carré à effet aléatoire	,040	,008	,075
Raideur Gastro. Latéral	Eta carré	,203	,099	,293
	Epsilon carré	,190	,083	,281
	Omega carré à effet fixe	,189	,083	,280
	Omega carré à effet aléatoire	,072	,029	,115
Raideur Tendon d'Achille	Eta carré	,061	,004	,127
	Epsilon carré	,045	-,013	,113
	Omega carré à effet fixe	,045	-,013	,112
	Omega carré à effet aléatoire	,015	-,004	,040
Raideur Fascia plantaire	Eta carré	,200	,095	,289
	Epsilon carré	,186	,080	,277
	Omega carré à effet fixe	,185	,080	,276
	Omega carré à effet aléatoire	,070	,028	,113

a. Les valeurs éta carré et epsilon carré sont estimées en fonction du modèle à effet fixe.

b. Des estimations négatives mais moins biaisées sont conservées, sans être arrondies à zéro.

## 7.2. Annexe 2 : Fiche de renseignements du participant

### Fiche patient

*Mesure de la raideur du gastrocnémien latéral et médial, du fascia plantaire,  
du tendon d'Achille et du tendon rotulien*

Merci de bien vouloir compléter cette fiche avec tes informations personnelles\* :

**Nom :**

**Prénom :**

**Genre :**

**Âge :**

**Poids :**

**Taille :**

**Profession :**

**Pied dominant :** gauche - droite (*le pied avec lequel tu shooterais dans un ballon*)

**Activité(s) physique(s) pratiquée(s)** et précisez avec la **fréquence** de celle-ci :

-  
-  
-  
-

**Antécédents de blessures** éventuels en lien avec les membres inférieurs, précisez la **localisation** et la **date** d'apparition :

-  
-  
-  
-

**Téléphone :**

**E-mail :**

Nous te remercions pour ta participation à notre étude :).

*\*Toutes ces informations sont dans le cadre de l'expérimentation et nous nous engageons à la confidentialité de celles-ci.*

### 7.3. Annexe 3 : Formulaire de consentement

#### FORMULAIRE DE CONSENTEMENT ECLAIRE AU PATIENT

1. Je soussigné(e) (NOM, Prénom(s)), ..... déclare avoir lu l'information qui précède et accepter de participer à l'expérimentation de la mesure de la raideur des gastrocnémiens médiaux et latéraux, du fascia plantaire, du tendon d'achille et du tendon rotulien via le MyotonPRO.
2. On m'a remis une copie de ce formulaire de consentement éclairé signé et daté, ainsi que de la note d'information destinée au patient. J'ai reçu une explication concernant la nature, le but, la durée de l'expérimentation et j'ai été informé(e) de ce qu'on attend de ma part. On m'a donné le temps et l'occasion de poser des questions sur l'expérimentation ; toutes mes questions ont reçu une réponse satisfaisante. L'intervention m'a été expliquée en détails, avec les effets secondaires et les risques connus potentiels.
3. J'ai été informé(e) de l'existence d'une assurance.
4. Je sais que cette expérimentation a été soumise et approuvée par le Comité d'Éthique Hospitalo-Facultaire Saint-Luc - UCLouvain.
5. Je suis libre de participer ou non, de même que d'arrêter l'expérimentation à tout moment sans qu'il soit nécessaire de justifier ma décision et sans que cela n'entraîne le moindre désavantage.
6. En signant ce document, j'autorise l'utilisation des données me concernant dans le respect de
  - la loi belge du 30 juillet 2018 relative à la protection de la vie privée ;
  - la loi du 22 août 2002 relative aux droits du patient ;
  - la loi du 7 mai 2004 relative à l'expérimentation sur la personne humaine ;
  - les réglementations européennes (réglementation générale européenne sur la protection des données à caractère personnel [RGPD] du 25 mai 2018) et belges en vigueur.
7. Je n'ai subi aucune pression physique ni psychologique induite pour ma participation à l'expérimentation.
8. Je consens de mon plein gré à participer à l'expérimentation,
  - N°1 : *"Quantification des normes de raideur musculo-tendineuse de la cheville"* menée par Emilie Delvaux
  - N°2 : *"Evaluation de l'impact de la rigidité du tendon d'Achille sur l'incidence des tendinopathies d'Achille"* menée par Elisa Peretz et Virgile Vittot
  - N°3 : *"Modification des raideurs passives aux membres inférieurs suite à une blessure"* menée par Laura Van Gyseghem et Clothilde Mauclère
  - Au projet global, soit aux trois expérimentations citées ci-dessus.
9. Je participe activement à consentir à un suivi régulier. J'accepte donc de recevoir un rappel mensuel afin de vérifier si je développe une éventuelle pathologie depuis ma participation à l'étude.
  - En cas d'affirmation, vous serez priés de spécifier la nature de la pathologie et la date de son apparition.
  - En revanche, si vous n'avez pas été affectés par une quelconque pathologie, vous répondrez simplement par "non" lors de la sollicitation mensuelle.(Cette démarche vise à garantir une surveillance continue de la santé des participants, contribuant ainsi à l'intégrité et à la validité des résultats de l'expérimentation. La transparence et la communication ouverte entre les chercheurs et les participants sont essentielles pour assurer le succès et la pertinence de cette étude.)
  - J'accepte les conditions ultérieures

**Date** (jour/mois/année) ...../...../20..... **Signature** du (de la) patient(e)

Je, soussigné, Mme/Mlle/M. (NOM, Prénoms)

..... confirme que j'ai expliqué la nature, le but  
et la durée de l'enquête au (à la) patient(e) mentionné(e) ci-dessus.

**Date** (jour/mois/année) ...../...../20..... **Signature de la personne qui  
procure l'information**



## Résumé

**Contexte :** La raideur des jambes est un concept biomécanique faisant référence à la résistance du membre inférieur à la déformation lors d'activités. Elle implique la capacité des muscles, des tendons et des articulations de la jambe à absorber et à libérer l'énergie de manière efficace. La raideur des jambes joue un rôle important dans la locomotion humaine, en influençant la stabilité, l'efficacité du mouvement et la transmission des forces qui sont des éléments utiles pour de nombreuses activités sportives et les mouvements quotidiens.

**Méthode :** Notre étude s'est portée sur 181 individus en bonne santé. La raideur des segments jambiers inférieurs a été mesurée avec le MyotonPro. Une collecte des données anthropométriques, des antécédents de blessure et des informations sur l'activité physique a été réalisée. Une analyse statistique a été réalisée pour comprendre la relation entre les raideurs moyennes et les caractéristiques et habitudes des participants.

**Résultats :** Les résultats montrent que le tendon d'Achille est la structure mesurée la plus raide. Une différence significative de raideur est observée selon le genre. Il existe des différences significatives de raideur entre les groupes concernant les paramètres anthropométriques. La raideur du TA est également plus élevée chez ceux ayant eu une tendinopathie d'Achille. Aucune différence significative n'est observée en fonction de la fréquence d'activité physique, mais certaines activités montrent des spécificités. La dominance ne semble pas avoir d'impact sur les raideurs. Enfin, l'aspect potentiellement préventif de l'analyse des raideurs pour prédire une altération musculo-tendineuse ne s'avère pas concluant.

**Conclusion :** Notre analyse des raideurs a soutenu les observations d'études précédentes concernant les liens établis avec les caractéristiques anthropométriques et démographiques. Il a été innovant d'établir des hypothèses visant à mieux comprendre l'évolution des raideurs des segments jambiers inférieurs en fonction des habitudes sportives et des pathologies préexistantes ou survenues pendant l'étude.