

MINISTÈRE DE LA SANTÉ  
RÉGION LORRAINE  
INSTITUT LORRAIN DE FORMATION DE MASSO-KINÉSITHÉRAPIE DE NANCY  
Institut Lorrain de Formation en Masso-Kinésithérapie  
57 bis, rue de Nabécor  
54000 NANCY

**Etude de l'effet du massage  
sur le tonus musculaire du coureur à pied  
grâce à l'électromyographie de surface**



Mémoire présenté par **Benoît HERAIL**  
étudiant en 3<sup>e</sup> année de masso-  
kinésithérapie, en vue de l'obtention du  
Diplôme d'Etat de Masseur-Kinésithérapeute

2013-2016.

## SOMMAIRE

### GLOSSAIRE

### LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES

### RÉSUMÉ

1. INTRODUCTION.....	1
2. CADRE THEORIQUE.....	4
2.1. Massage.....	4
2.2. Effleurage.....	4
2.3. Pression glissée.....	4
2.4. Pétrissage profond.....	4
2.5. Tonus musculaire.....	5
2.6. Tonus de base (TB).....	5
2.7. Tonus d'action (TA).....	5
2.8. Electromyographie de surface (EMGs).....	6
2.9. Recommandations du SENIAM.....	6
3. Matériel et Méthode.....	6
3.1. Stratégie de recherches documentaires.....	6
3.2. Contexte.....	8
3.3. Population.....	8
3.4. Matériel.....	8
3.5. Méthode mise en place pour le protocole expérimental.....	9
3.5.1. Installation et repérage.....	9
3.5.2. Premières prises de mesure.....	10
3.5.2.1. <i>Mesure du tonus de base (TB)</i> .....	10
3.5.2.2. <i>Mesure du tonus d'action (TA)</i> .....	10
3.5.2.3. <i>Course à pied</i> .....	10
3.5.2.4. <i>Temps de repos, installation et mesures</i> .....	11
3.5.2.5. <i>Massage</i> .....	11
3.5.2.6. <i>Temps de repos et mesures</i> .....	11
3.5.2.7. <i>Méthode statistique</i> .....	11
4. RESULTATS.....	12
4.1. Tonus de base (TB).....	12
4.1.1. Généralités.....	12

4.1.2.	Comparaison du TB en fonction de l'activité physique .....	13
4.2.	2. Tonus d'action.....	14
4.2.1.	Généralités .....	14
4.2.2.	TA en fonction de l'activité physique .....	16
5.	DISCUSSION.....	17
5.1.	Temps de travail et fatigue des gastrocnémiens.....	17
5.2.	Position des gastrocnémiens .....	18
5.3.	Type d'appareil EMGs utilisé.....	18
5.4.	Paramètres modifiant la force du signal EMG.....	18
5.4.1.	Distance entre les électrodes et la zone musculaire .....	18
5.4.2.	Les propriétés des tissus traversés.....	19
5.4.3.	Les électrodes .....	19
5.4.4.	La qualité du contact entre les électrodes et la peau.....	19
5.5.	Paramètres concernant le massage .....	19
5.5.1.	Efficacité du massage en fonction de l'évaluateur .....	19
5.5.2.	Objectif du massage.....	20
5.5.3.	Durée du massage .....	20
5.5.4.	Effets du massage sur les douleurs musculaires retardées (Delayed Onset muscle Soreness).....	21
5.6.	Tonus de base .....	22
5.6.1.	Éléments constitutifs du tonus de base.....	22
5.6.2.	Relâchement des sujets.....	23
5.6.3.	Comparaison jambe dominante et non-dominante avant-après CAP .....	23
5.6.4.	Effets du massage sur le TB.....	24
5.6.5.	Comparaison H-F.....	25
5.6.6.	TB et activité sportive.....	25
5.7.	Tonus d'action .....	25
5.7.1.	Différence tonus d'action G-D.....	25
5.7.2.	Différence avant-après course .....	26
5.7.3.	Différence avant-après massage .....	26
5.7.4.	Contraction maximale ? .....	27
5.7.5.	Tonus d'action, massage et activité sportive .....	27
5.8.	Un effet de seuil ?.....	27

6. CONCLUSION ..... 28

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

## **GLOSSAIRE**

**μV** : Microvolt

**CK** : Créatine Kinase

**D** : Droite

**DOMS** : Delayed onset muscle soreness

**EBP** : Evidence Based Physiotherapy

**EMGs** : Electromyogramme de surface

**EMGsi**: Electromyogramme à signal intégré

**EVA** : Echelle visuelle analogue

**G** : Gauche

**Hz** : Hertz

**IFMK** : Institut de formation en masso-kinésithérapie

**ILFMK** : Institut Lorrain de formation en masso-kinésithérapie

**IJ** : Ischio-jambiers

**INSEP** : Institut National du Sport de l'Expertise et de la Performance

**ISI** : intrinsic stiffness index

**MK** : Masseur-kinésithérapeute

**NS** : Non sportifs

**Q** : Quadriceps

**S** : Sportifs

**SENIAM** : Surface EMG for Non-Invasive Assessment of Muscles

**TA** : Tonus d'action

**TB** : Tonus de base

## **LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES**

Tableau I : Méthode de recherches documentaires .....	7
Tableau II : Protocole de massage mis en place après l'effort physique .....	11
Tableau III : Distribution des individus pour l'évolution du TB moyen .....	12
Tableau IV : Evolution du tonus de base en pourcentage sur la jambe massée gauche (G) et la jambe témoin droite (D) chez le coureur à pied.....	13
Tableau V : Distribution des individus pour l'évolution du TA moyen .....	15
Tableau VI : Evolution des moyennes des TA et TB .....	15
Figure 1 : Matériel utilisé pour la prise de mesure .....	9
Figure 2 : Position des électrodes sur les jambes du sujet.....	10
Figure 3 : Evolution du tonus de base moyen.....	12
Figure 4 : Evolution du TB moyen chez les sujets sportifs .....	14
Figure 5 : Evolution du TB moyen chez les sujets non-sportifs .....	14
Figure 6 : Evolution du TA moyen .....	15
Figure 7 : Evolution du TA moyen chez les sujets non-sportifs .....	17

## RÉSUMÉ

**Objectifs :** Le tonus musculaire représente l'importance de la décharge électrique conduisant à la contraction. C'est aussi un indicateur de l'état de fatigue musculaire. Si de nombreuses études ont été réalisées sur les effets du massage chez le sportif, peu d'entre elles abordent l'effet du massage sur le tonus musculaire. Nous proposons donc d'étudier les variations de cette grandeur après le massage, lors de l'état relâché, qui permet de mesurer le tonus de base (TB), et lors de la contraction maximale, qui donne le tonus d'action (TA), chez des sujets ayant réalisé une séance de course à pied.

**Matériel et Méthode :** 25 étudiants âgés de 20 à 30 ans se sont portés volontaires pour l'étude. Deux séries de mesures des TB et TA ont été réalisées avant et après une séance de course à pied de 50 minutes. Ensuite un massage de récupération de 6 minutes a été réalisé sur la jambe gauche. Une troisième série de mesures a été réalisée après le massage. Les enregistrements ont été réalisés sur les deux jambes avec un électromyogramme de surface (EMGs). Les électrodes ont été placées sur les corps musculaires des gastrocnémiens. L'hypothèse de notre étude était que le massage diminue le TB et augmente le TA.

**Résultats :** Nous avons obtenu une tendance à la baisse du TB au niveau de la jambe massée de 20% ( $p = 0,05$ ) contre 15% du côté témoin. Il n'a pas été observé de variation significative du TA.

**Conclusion :** Le massage a donc un rôle dans la récupération, notamment par rapport au TB, puisque les fibres musculaires sont plus relâchées après le massage. Il n'a cependant pas fait ses preuves de façon nette et n'a pas d'action différenciée selon l'importance de la pratique sportive.

**MOTS-CLÉS :** Tonus musculaire, massage, électromyogramme de surface, récupération.

**KEYWORDS :** Muscular tone, massage, surface electromyography, recovery.

## 1. INTRODUCTION

Le massage fait partie des techniques de base enseignées dans les instituts de formation en masso-kinésithérapie (IFMK) car il fait partie de l'arsenal thérapeutique à la disposition des masseurs-kinésithérapeutes (MK). Son utilisation répond à plusieurs objectifs : préparation et récupération sportives, détente, adjuvant thérapeutique, antalgique, bien-être. Comme l'ensemble des outils entre les mains des MK, les massages sont soumis à l'*Evidence Based Physiotherapy* (EBP), la kinésithérapie basée sur les preuves, et doivent donc se plier à l'exercice de la recherche de leurs effets réels, la réalisation d'études scientifiques comparant l'incidence du massage sur une variable par rapport à une autre technique, à une non-intervention ou un placebo.

Chaque technique de massage a des effets recherchés différents selon la pression exercée, le rythme des manœuvres, les mouvements des mains. La pression par exemple, lorsqu'elle est modérée, contribue à la diminution de la fréquence cardiaque, à l'augmentation de l'activité électromagnétique alpha de l'encéphale, ce qui traduit un état de relaxation ; une pression légère quant à elle induira une activité bêta, qui signera un état cérébral éveillé. Cette conclusion a été obtenue grâce à un électroencéphalogramme réalisé avant, pendant et après le massage (1).

Déjà au V<sup>ème</sup> siècle avant JC, les grecs utilisèrent les premiers les massages, d'abord dans le cadre de la guerre, pour soulager les combattants de la douleur et de la fatigue. Ils furent ensuite introduits dans le cadre de compétitions sportives en préparation et en récupération, associés à des huiles essentielles (2). Avec le temps, le massage est entré dans d'autres sphères, mais reste toujours proche du milieu sportif. Les MK sont aujourd'hui au plus près des jeunes athlètes, dans les Instituts Nationaux du Sport de l'Expertise et de la Performance (INSEP), et des sportifs professionnels, pendant les périodes d'entraînement et de compétition. Par ailleurs, de plus en plus d'épreuves sportives ouvertes au public sollicitent les MK pour dispenser des massages. Ces derniers bénéficient donc d'une image et d'un ressenti positifs dans le milieu sportif. Ainsi, Carcano et col. (3) démontrent que les massages réalisés après l'effort chez 96 athlètes de niveau national diminuent la perception de la douleur, de la fatigue et augmentent le bien-être. Mais ont-ils un impact réel sur la physiologie musculaire ou profitent-ils d'un effet placebo ? Quel est leur impact sur certaines lésions propres aux sportifs ?

Les résultats d'une étude réalisée sur des lapins ont permis de mettre en évidence les effets bénéfiques du massage sur l'inflammation due à l'effort excentrique. En effet, les individus ont subi dans un premier temps un cycle de contractions excentriques du tibia antérieur, puis des pressions glissées ont été réalisées pendant 15 minutes sur ce même muscle. Les concentrations en macrophages et en neutrophiles, marqueurs de l'inflammation et de la lyse cellulaire, ainsi que la force maximale du muscle ont été enregistrées. Ainsi une diminution significative de la concentration des macrophages et des neutrophiles a été observée chez les individus ayant reçu un massage immédiatement après l'exercice physique, impliquant en conséquent une diminution de l'inflammation (4).

D'autre part le massage a prouvé qu'il limite les douleurs pendant et après la course à pied et augmente la confiance en ses capacités physiques. En effet, une étude a évalué deux groupes de coureurs : l'un était massé après chaque séance, l'autre ne l'était pas. Par la suite une course de 10 kilomètres a été réalisée par ces deux groupes. 100% des sujets du groupe massé ont atteint leur objectif, contre 58% dans le groupe témoin (5). De plus, Crane et col. (6) concluent dans leur étude que le massage réduit l'inflammation tissulaire, en diminuant la concentration en cytokines, réduit le stress tissulaire et améliore la biogenèse mitochondriale, autrement dit augmente le développement des mitochondries dans les myofibrilles.

Par ailleurs, le massage a un effet sur la détente des tissus. Cet effet se situe plus au niveau de la contracture musculaire, qui est une lésion localisée dans les structures dites actives, plutôt qu'au niveau de la rigidité, qui concerne les structures passives. Cet effet est limité à la journée pendant laquelle le massage est réalisé (7).

Cependant, le massage n'est pas toujours l'outil thérapeutique le plus efficace. Il a ainsi été comparé à d'autres techniques, notamment la récupération active. Cette dernière peut se définir par des répétitions de contractions sous-maximales dans le but d'augmenter la vascularisation et de diminuer les contractures. Ainsi la récupération active aurait plus d'effet que le massage sur l'augmentation de la vascularisation et sur la diminution de sensation de contracture (8). Une étude réalisée sur soixante-dix nageurs a montré qu'au point de vue de la concentration en lactate, la récupération active est plus profitable que le massage, qui lui-même l'est plus que la récupération passive (9). Micklewright et col. (8) relient quant à eux la concentration en lactate à la vascularisation, ce qui, au vu de l'exemple

précédent, va à l'encontre du lieu commun selon lequel le massage augmenterait la perfusion sanguine. Un autre moyen de récupération est la cryothérapie, c'est-à-dire l'utilisation du froid qui entraîne une hyper-vascularisation réactionnelle : une étude anglaise réalisée sur seize basketteurs et basketteuses de Première Ligue Universitaire conclue qu'une immersion dans l'eau froide après un effort prolongé augmente de façon significative la hauteur du saut, par rapport à l'application d'un massage (10).

D'autre part, la fatigue musculaire étant en partie due à la diminution des réserves énergétiques, la littérature met en évidence le fait que la concentration en glycogène n'est pas affectée par le massage (6).

Un autre composant de la physiologie musculaire susceptible d'être modifié pendant l'effort est le tonus musculaire. Ce dernier a fait l'objet de nombreuses études, plus spécifiquement, le tonus de base (11). Ce dernier est l'un des facteurs biomécaniques de la posture, de la balance agoniste-antagoniste, et obéissant au principe du moindre effort. C'est aussi un indicateur de l'état de fatigue et de stress du muscle. Il est fonction de la contractilité musculaire et des facteurs hémodynamiques. Pour objectiver ses évolutions, l'électromyogramme de surface (EMGs) est un outil incontournable. Il donne une représentation globale de l'état du muscle et de la fonction neuromusculaire (12). L'EMGs est donc un outil fiable qui reflète l'état de fatigue du muscle (13).

Ainsi des études ont prouvé les effets psychologiques du massage après l'effort. Les conséquences chimiques, hémodynamiques et sensitives ont été étudiées en émettant des résultats contrastés. Cependant, peu d'études ont objectivé de façon directe l'évolution du tonus musculaire après le massage chez le sportif. Un mémoire récent a observé l'évolution du tonus musculaire après le massage sur des sujets qui n'avaient pas fait d'activité physique auparavant. D'après les résultats de ce dernier, il semble que le tonus de base diminue et le tonus d'action augmente après le massage de façon significative (14). La fatigue musculaire périphérique, conséquence de désordres situés dans le muscle, ayant un impact sur l'excitation musculaire, nous pouvons nous demander quelle serait la réaction du tonus sur un muscle fatigué, après un massage. Quel est l'effet du massage sur le tonus musculaire du coureur à pied ? L'objectif de notre étude est donc de vérifier si le massage, lorsqu'il est réalisé après l'activité physique, diminue le tonus de base et augmente le tonus d'action (TA).

## 2. CADRE THEORIQUE

### 2.1. Massage

Le massage comprend toute manœuvre externe, réalisée sur les tissus, dans un but thérapeutique ou non, de façon manuelle ou par l'intermédiaire d'appareils, avec ou sans l'aide de produits, qui comporte une mobilisation ou une stimulation méthodique, mécanique ou réflexe de ces tissus (15). Pour Kamencz et col. (1), le massage est un ensemble de techniques utilisées dans un but thérapeutique, hygiénique et sportif.

### 2.2. Effleurage

C'est une manœuvre qui consiste à déplacer les mains sur les téguments sans déprimer, ni déplacer les tissus mous sous-jacents. L'effleurage permet de débiter, terminer et relier les manœuvres entre elles. Cette technique entraîne une augmentation de la fréquence cardiaque et une diminution de l'activité delta, ce qui traduit une augmentation de l'éveil sensoriel (1).

### 2.3. Pression glissée

Cette manœuvre consiste à déplacer les mains sur l'épiderme du patient tout en comprimant les parties molles sous-jacentes. Les pressions glissées entraînent une diminution de la fréquence cardiaque, une augmentation de l'activité delta traduisant un effet de relaxation, et une activation de l'hémisphère gauche (1). Grâce au mouvement drainant, cette technique permet de diminuer l'inflammation locale musculaire après l'effort (16). Les pressions glissées permettent de récupérer plus vite l'élasticité musculaire après un effort excentrique prolongé (17).

### 2.4. Pétrissage profond

Cette technique revient à attraper, soulever, et tordre de façon hélicoïdale un muscle, de façon à allonger ses fibres musculaires. Le pétrissage profond permet de diminuer l'échelle visuelle analogue (EVA) à trois mois chez les patients souffrant d'une épaule douloureuse chronique (18). Le mouvement en torsion permet d'essorer le muscle, de le drainer des substances inflammatoires et d'augmenter le retour veineux.

## 2.5. Tonus musculaire

Le tonus musculaire peut être vu de deux façons : un versant mécanique qui se traduit par une notion de rigidité, de souplesse ou de détente. L'autre versant est la grandeur quantifiant l'activité électrique du muscle, ou potentiel d'action (11), c'est-à-dire le mouvement d'ions autour de la membrane cellulaire dû à la dépolarisation de la membrane post-synaptique et conduisant à la contraction musculaire. Le signal EMG enregistré sera assimilé à la somme des potentiels d'action des unités motrices actives. Il se mesure différemment selon les appareils utilisés, en Hertz (Hz) ou en microvolts ( $\mu V$ ).

## 2.6. Tonus de base (TB)

C'est l'état de légère tension isométrique des muscles, involontaire et permanente, même au repos (il ne disparaît pas non plus au moment du sommeil). Le TB permet aussi de maintenir la cohésion des différentes parties du corps (19). Il a un rôle dans la statique et la dynamique. En effet il sert à neutraliser les forces externes s'opposant au corps humain comme la gravité et il concourt à la synergie agoniste-antagoniste lors du mouvement.

Le TB comporte deux composantes distinctes :

- Une composante neurologique, c'est-à-dire la tension active du muscle et la réponse au réflexe d'étirement.
- Une composante non neurologique, c'est-à-dire la rigidité passive du muscle et les propriétés viscoélastiques intrinsèques du muscle.

## 2.7. Tonus d'action (TA)

C'est la contraction musculaire permettant l'action et le mouvement. Il est en principe intentionnel, sous commande volontaire. Il est fonction du nombre de fibres musculaires, de l'activité physique du sujet, et l'âge de ce dernier (19).

Ce qui fait la différence entre le TA et le TB sera l'importance de l'activité électrique. En équilibre statique, le corps applique le principe du moindre effort, le minimum de fibres musculaires sera donc utilisé pour maintenir cet équilibre, l'activité électrique minimale sera qualifiée de TB. Lors d'une déstabilisation lente, la force de la contraction augmentera avec l'activité électrique, nous parlerons donc alors de TA.

## 2.8. Electromyographie de surface (EMGs)

L'électromyogramme de surface est un outil permettant une mesure non-invasive de l'amplitude de la réponse électrique musculaire grâce aux électrodes posées sur l'épiderme du patient (20). Cet outil nous permet d'identifier l'activité électrogénique due à l'activation du motoneurone  $\alpha$  et de la jonction neuromusculaire, entraînant la contraction de réponse de la cellule musculaire (21). A la différence de l'électromyographie à l'aiguille, l'EMGs permet de donner un aperçu global de l'activité musculaire et sa reproductibilité est supérieure à celle de l'EMG à aiguille (12).

## 2.9. Recommandations du SENIAM

Le *Surface EMG for Non-Invasive Assessment of Muscles* (SENIAM) est un groupe de recherches qui a pour but de standardiser l'utilisation de l'EMGs afin d'uniformiser les protocoles de recherches. Voici quelques-unes des recommandations de base que nous avons suivies. La taille de l'électrode doit être inférieure à 1 cm de long, de forme carrée, avec une distance inter-électrode de 2 cm pour les grands muscles. L'utilisation d'électrodes Ag/Ag-Cl est recommandée. La distance inter-électrode doit être fixe (22). Les fils reliant les électrodes à l'EMGs sont fixés pour éviter leur mouvement et ainsi limiter l'apparition d'artefacts. La peau doit être dépoilée, lavée à l'alcool puis séchée. Ce groupe de recherches a aussi donné une indication sur les zones où poser les électrodes pour chaque muscle.

# 3. MATERIEL ET METHODE

## 3.1. Stratégie de recherches documentaires

Notre travail balaie plusieurs domaines. En effet, il se situe au croisement de la physiologie musculaire et de l'effort, ainsi que du massage, du tonus et de la récupération musculaire. Cela a donc orienté nos recherches bibliographiques puisque nous avons commencé par faire une recherche pour chaque mot-clé afin d'en identifier le sens ainsi que les dernières publications liées au sujet. Ensuite nous avons soumis aux bases de données des associations de mots-clés du type « *surface EMG* » et « *gastrocnemius* ».

Les recherches bibliographiques ont été réalisées de septembre à novembre 2015. Les bases de données exploitées ont été Science Direct, PubMed, EM-Consulte, Cochrane, Réédoc et la bibliothèque numérique de Wageningen University and Research Center.

D'une part, les mots-clés français utilisés ont été : effets massage, sport, sport massage, fatigue musculaire, EMG de surface, électromyographie de surface, tonus musculaire, récupération musculaire. D'autre part, pour élargir le champ des connaissances nous avons également utilisé les mots-clés en anglais suivants pour avoir accès à la littérature internationale : *massage effects, sport, sport massage, muscular fatigue, surface EMG, surface electromyography, muscle tone, massage DOMS (Delayed onset muscle soreness), gastrocnemius, human resting muscle tone, recovery*.

Les publications datant de plus de vingt ans n'ont été utilisées qu'à titre informatif. Les articles dont les mots-clés correspondaient le mieux, ont été retenus. Une grande partie de nos sources proviennent des références bibliographiques des articles répertoriés. 88 articles ont donc été retenus à la fin de cette recherche (voir **Tableau I** ci-dessous).

**Tableau I : Méthode de recherches documentaires**

Base de données	Mots-clés en français Key-Words en anglais	Résultats trouvés	Articles retenus
 ScienceDirect	<i>surface electromyography + massage effects</i>	620	5
	<i>sport + massage</i>	5 701	10
	<i>muscle tone</i>	110 721	8
	<i>muscle recovery + massage</i>	7 688	7
	<i>DOMS + massage</i>	594	5
	<i>effects massage</i>	36 603	8
 PubMed	<i>surface electromyography + massage</i>	108	2
	<i>sport massage</i>	445	4
	<i>muscle recovery + massage</i>	112	15
	<i>DOMS + massage</i>	25	19
	<i>effects massage</i>	3 053	2
 WAGENINGEN UR	<i>surface electromyography + massage</i>	13	2
	<i>sport massage</i>	59	17
	<i>muscle tone</i>	50 129	2
	<i>DOMS + massage</i>	42	6
	<i>massage review</i>	1527	1
	<i>massage + recovery</i>	1 164	17
 EM consulte	électromyographie de surface	3 447	5
	sport + massage	857	1
	DOMS + massage	119	5
	récupération musculaire + massage	3127	4

### 3.2. Contexte

Cette étude a été réalisée entre octobre 2015 et janvier 2016 à l'ILFMK de Nancy. Les sujets ont été recrutés sur annonce dans les 3 promotions de l'ILFMK à partir d'octobre 2015. Le recueil des données a été réalisé avec un EMG et des électrodes.

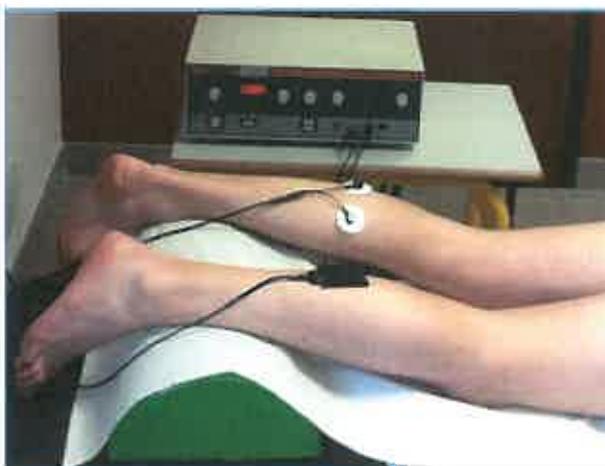
### 3.3. Population

Cette étude a été réalisée sur 24 sujets sains, 20 hommes et 4 femmes, de 18 à 30 ans. Il leur a été demandé de remplir une fiche de recueil comprenant leur consentement libre et éclairé ainsi que des renseignements utilisés pour les critères d'exclusion (voir [Annexe I](#)). Ont été exclus de l'étude les personnes présentant des pathologies aiguës des membres inférieurs, ou prenant des médicaments au long cours. La jambe gauche a été massée, la droite n'a pas reçu de soins. Les mesures de tonus ont été réalisées sur les deux jambes. Les sujets ont été classés en deux catégories : « sportifs » (S) et « non sportifs » (NS) :

- Sportifs (S) : Individus pratiquant habituellement au moins deux heures d'activité physique par semaine.
- Non sportifs (NS) : Individus pratiquant habituellement moins de deux heures d'activité physique par semaine.

### 3.4. Matériel

Nous avons utilisé un électromyogramme de surface (MyoMed 432 R) équipé d'électrodes Ag/AgCl pour réaliser les différentes mesures. Une table de massage, un coussin en demi-lune, du talc et du gel conducteur ont été également utilisés durant le protocole (voir [Figure 1](#) ci-dessous).



**Figure 1** : Matériel utilisé pour la prise de mesure (EMGs MyoMed 432R, électrode, coussin en demi-lune). Photographie réalisée par l'auteur.

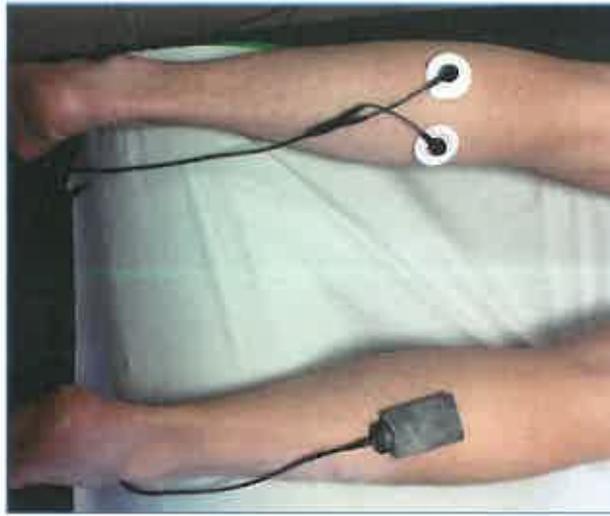
### 3.5. Méthode mise en place pour le protocole expérimental

#### 3.5.1. Installation et repérage

Le sujet est installé en procubitus, le coussin en demi-lune sous les jambes, de façon à se trouver le plus détendu possible.

Pour se trouver à l'aplomb des corps musculaires des deux gastrocnémiens, nous demandons au sujet une flexion plantaire, nous palpons la division des deux gastrocnémiens puis nous déportons de deux travers de doigt en haut et en-dedans pour le vaste latéral puis en-dedans pour le vaste médial.

Les emplacements des électrodes sont repérés au moyen d'un stylo, de façon à ce que les repères ne disparaissent pas pendant la séance de course à pied ou le massage. Les électrodes sont éloignées d'au moins 2 centimètres et ne doivent pas se trouver au-dessus d'un point moteur ou du tendon (voir [Figure 2](#) ci-dessous). Les jambes ont été lavées à l'eau avant chaque mesure.



**Figure 3 :** Position des électrodes sur les jambes du sujet. *Photographie réalisée par l'auteur.*

### 3.5.2. Premières prises de mesure

Après un temps de repos de 5 minutes, les premiers enregistrements sont réalisés.

#### 3.5.2.1. *Mesure du tonus de base (TB)*

Le tonus de base se mesure sur 18 secondes, à la fréquence d'une mesure toutes les 3 secondes. La consigne donnée au sujet est : « Détendez-vous au maximum » dans l'objectif de se relâcher au maximum. En effet toute contraction pendant la mesure fausse cette dernière. Les mesures du TB de tous les individus sont présentées en [Annexes II et III](#).

#### 3.5.2.2. *Mesure du tonus d'action (TA)*

Le tonus d'action se mesure sur 6 secondes, à la fréquence d'une mesure toutes les 3 secondes. La consigne donnée au sujet est : « Tendez la pointe de pied le plus fort possible vers le bas » de façon à réaliser la flexion plantaire la plus forte possible. Les mesures du TA de tous les individus sont présentées en [Annexes IV et V](#).

#### 3.5.2.3. *Course à pied*

Une séance de course à pied de 50 minutes est programmée (15 minutes d'échauffement, 20 minutes de course à intensité soutenue puis 15 minutes de retour au calme). Les sujets ont tous des capacités différentes en course à pied, le plus important pour nous est l'évolution des variables au cours de l'étude plutôt que les valeurs elles-mêmes.

#### 3.5.2.4. Temps de repos, installation et mesures

Après la course à pied, un temps de repos de 5 minutes est réalisé, sans étirements, dans la position de mesure. Les électrodes sont posées au niveau des empreintes prises lors des premières mesures. Une seconde série de mesures est réalisée (voir [Annexes II à V](#)).

#### 3.5.2.5. Massage

Le massage que nous avons réalisé durait 6 minutes. L'interface choisie a été le talc. Tous les massages ont été réalisés par le même étudiant. Notre mémoire s'intéresse au massage post-effort, nous allons donc réaliser un protocole composé de manœuvres à visées circulatoires et décontracturantes (voir [Tableau II](#)). Nous utiliserons les techniques de base que sont l'effleurage, les pressions glissées et le pétrissage profond. La fréquence est de 1 mouvement toutes les secondes et demie, sauf pour les pressions glissées, pour lesquelles le rythme était de une toutes les 3 secondes. Le test de la phlébite est réalisé avant le massage.

**Tableau II : Protocole de massage mis en place après l'effort physique**

Technique	Durée	Temps total
Effleurage	45 s	45 s
Pressions glissées	45 s	1 min 30 s
Pétrissage profond	3 min	4 min 30 s
Pressions glissées	45 s	5 min 15 s
Effleurage	45 s	6 min

#### 3.5.2.6. Temps de repos et mesures

Nous réalisons les dernières mesures du TB et du TA une minute après la fin du massage selon les mêmes instructions décrites précédemment en [3.5.2.1.](#) et [3.5.2.2.](#)

#### 3.5.2.7. Méthode statistique

La distribution de nos moyennes ne suit pas une loi normale, nous allons donc utiliser des tests non paramétriques. Un test de Friedman a été réalisé pour vérifier si les moyennes proviennent de la même population. Pour les comparaisons post-hoc, nous avons utilisé un test de Wilcoxon pour comparer la distribution des mesures entre les jambes gauche et droite. Nous nous sommes servis d'un test de comparaison des gains de Mann-Whitney pour comparer les évolutions entre les deux jambes. Les tests ont été réalisés sur Biostat TGV.

## 4. RESULTATS

### 4.1. Tonus de base (TB)

#### 4.1.1. Généralités

Le TB moyen du côté gauche a baissé de 3,92  $\mu\text{V}$  (écart-type de 2,16  $\mu\text{V}$ ) avant le massage à 3,13  $\mu\text{V}$  (écart-type de 1,78  $\mu\text{V}$ ) après le massage. Il a diminué de 5,26  $\mu\text{V}$  (écart-type de 2,16  $\mu\text{V}$ ) à 4,42  $\mu\text{V}$  (écart-type de 2,27  $\mu\text{V}$ ) après le massage sur la jambe gauche (voir [Figure 3](#)).

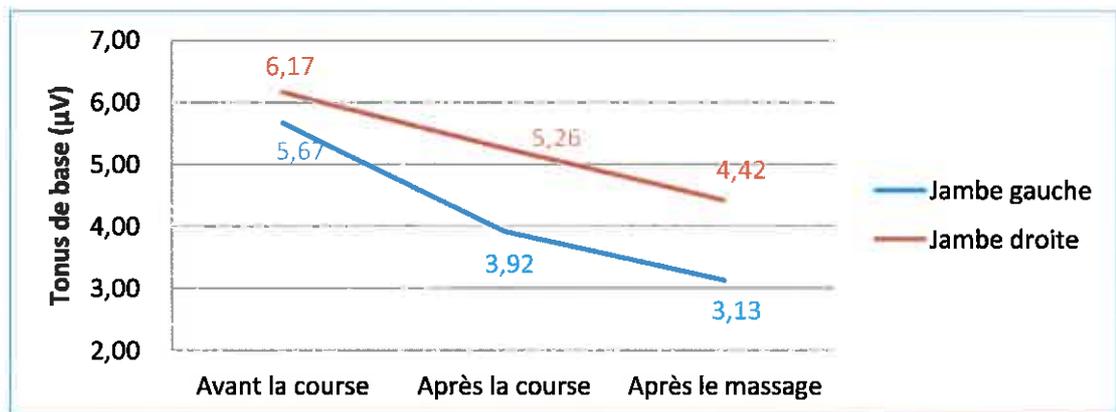


Figure 4 : Evolution du tonus de base moyen

Le TB moyen après massage a diminué chez 12 sujets à gauche contre 8 à droite, il a stagné chez 8 sujets à gauche contre 1 à droite et a augmenté chez 4 sujets à gauche contre 15 à droite (voir [Tableau III](#)).

Tableau III : Distribution des individus pour l'évolution du TB moyen

	TB moyen G	TB moyen D
Nombre de sujets présentant une diminution	12/24	8/24
Nombre de sujets présentant une stagnation	8/24	1/24
Nombre de sujets présentant une augmentation	4/24	15/24

Les moyennes du TB ont baissé de 20,15% du côté massé (G) et de 15,97% du côté témoin (D) après le massage. Les moyennes du TB ont baissé de 44,8% du côté G et de 28,36% du côté D avant la course à pied et après le massage. Les évolutions en pourcentage des TB sur la jambe massée gauche et la jambe contrôlée droite sont présentées dans le **Tableau IV**.

**Tableau IV** : Evolution du tonus de base en pourcentage sur la jambe massée gauche (G) et la jambe témoin droite (D) chez le coureur à pied.

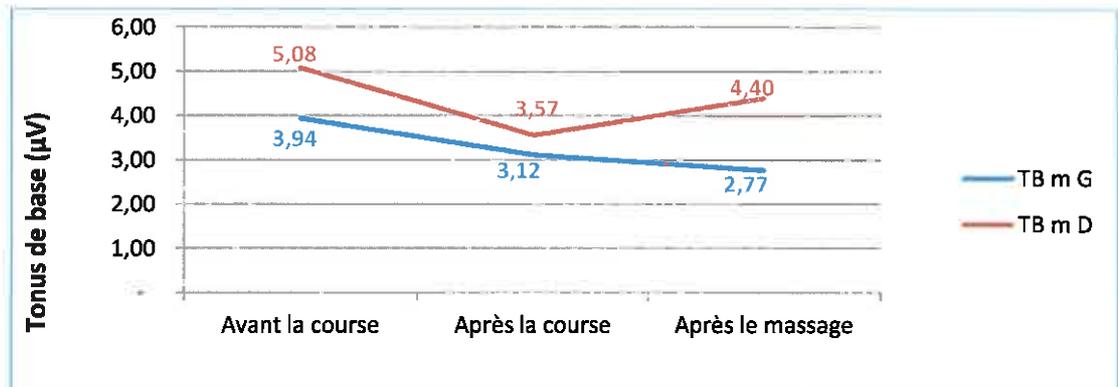
	Tonus de base G	Tonus de base D
Avant vs. après course	- 30,86%	- 36,47%
Avant vs. après massage	- 20,15%	- 15,97%
Avant course vs. après massage	- 44,80%	- 28,36%

Le test de Friedman nous montre qu'il existe une différence significative dans le comportement des moyennes du TA dans la jambe gauche entre le début et la fin de l'étude.

Le test de Wilcoxon quant à lui nous indique qu'il existe une tendance à la diminution du TB dans la jambe gauche due à l'effet du massage ( $p = 0,058$ ).

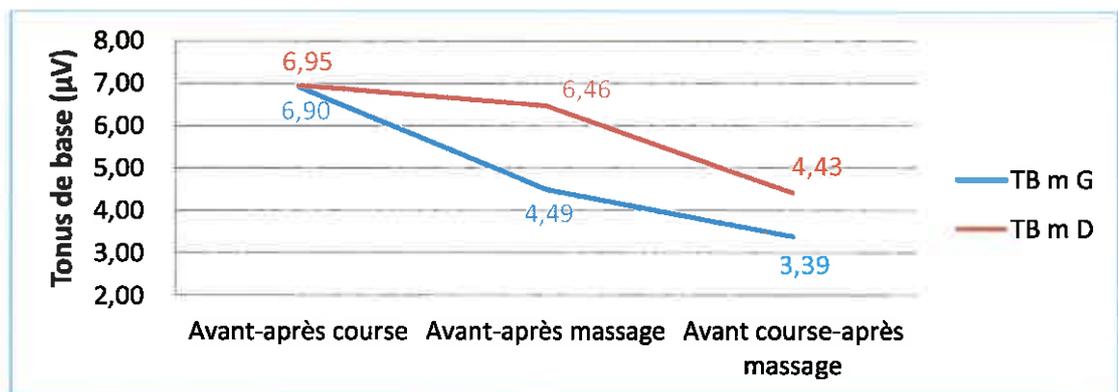
#### 4.1.2. Comparaison du TB en fonction de l'activité physique

Chez les sujets dits « sportifs » (S) (catégorie définie dans la [partie 3.3](#)), c'est-à-dire pratiquant plus de deux heures de sport par semaine, le TB moyen avant la course à pied est de 3,94  $\mu\text{V}$  à gauche (écart type de 2,81  $\mu\text{V}$ ) et de 5,08  $\mu\text{V}$  à droite (écart-type de 5,08  $\mu\text{V}$ ), comme le montre la [Figure 4](#).



**Figure 5 :** Evolution du TB moyen chez les sujets sportifs (G = gauche, D = droite)

Le TB est de 6,9  $\mu\text{V}$  chez les « non-sportifs » (NS) à gauche et à droite (écart-type de 2,5  $\mu\text{V}$  à gauche et 4,6  $\mu\text{V}$  à droite). Le TB moyen après le massage à gauche a diminué de 11,2% et a augmenté de 23,4% à droite. Le test de Mann-Whitney nous décrit qu'il n'existe pas de différences de comportement du TB après le massage entre les populations de S et de NS (voir **Figure 5**).



**Figure 6 :** Evolution du TB moyen chez les sujets non-sportifs (G = gauche, D = droite)

## 4.2. Tonus d'action

### 4.2.1. Généralités

Du côté gauche, le TA moyen passe de 103,27  $\mu\text{V}$  à 107,96  $\mu\text{V}$  après le massage. Du côté droit, il augmente de 98,31  $\mu\text{V}$  à 101,40  $\mu\text{V}$ . La moyenne du TA a augmenté de 4,54% du côté massé et de 3,14% du côté témoin. Du côté massé, le TA a augmenté de 6.8% par rapport au côté témoin (voir **Figure 7**).

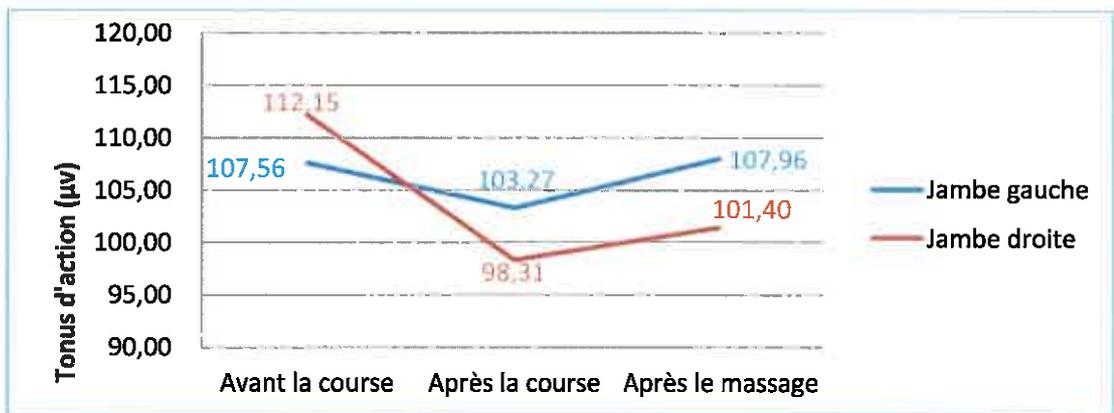


Figure 7 : Evolution du TA moyen (G = gauche, D = droite)

Le TA moyen a augmenté chez 17 sujets à gauche contre 10 à droite, il a diminué chez 6 sujets à gauche contre 14 à droite (voir Tableau V).

Tableau V : Distribution des individus pour l'évolution du TA moyen

	TA moyen G	TA moyen D
Nombre de sujets présentant une <b>diminution</b>	6/24	14
Nombre de sujets présentant une <b>stagnation</b>	1/24	0
Nombre de sujets présentant une <b>augmentation</b>	17/24	10

Comme nous l'indique le tableau VI ci-dessous, les moyennes du TB ont baissé de 20,15% du côté massé (G) et de 15,97% du côté témoin (D) après le massage. Les moyennes du TB ont baissé de 44,8% du côté G et de 28,36% du côté D avant la course à pied et après le massage.

Tableau VI : Evolution des moyennes des TA et TB (G = gauche, D = droite)

	Tonus d'action G	Tonus d'action D
Avant vs. après course	- 3,99%	- 12,34%

Avant vs. après massage	+ 4,54%	+ 3,14%
Avant course-après massage	+ 0,37%	- 9,59%

#### 4.2.1. Comparaison du TA en fonction de l'activité physique

Chez les sujets pratiquant plus de deux heures de sport par semaine, le TA moyen avant la course à pied est de 113,9  $\mu\text{V}$  à gauche (écart type de 36,2  $\mu\text{V}$ ) et de 117,9  $\mu\text{V}$  à droite (écart-type de 31  $\mu\text{V}$ ).

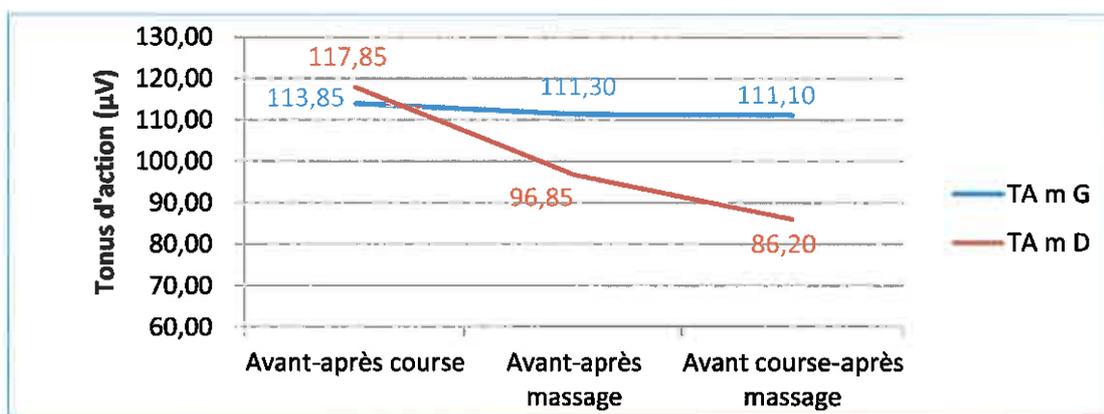
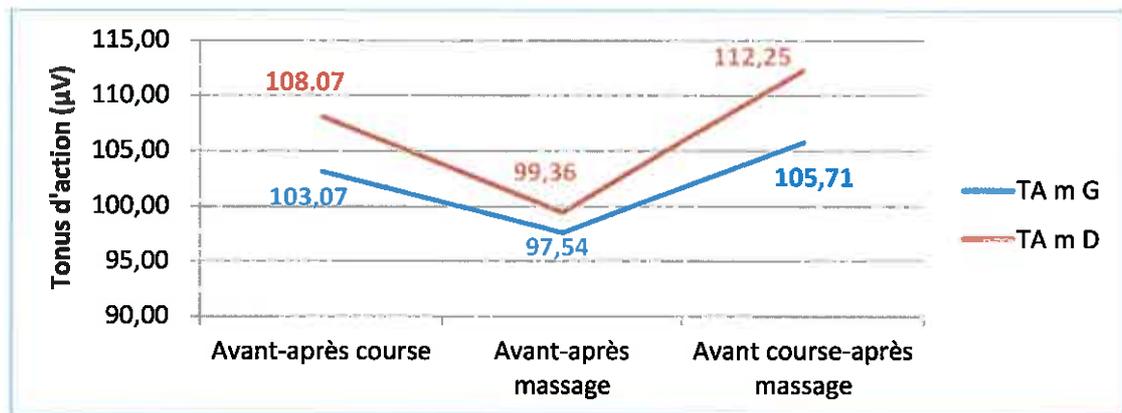


Figure 7 : Evolution du TA chez les sujets sportifs (G = gauche, D = droite)

Le TA est de 103,1  $\mu\text{V}$  chez les non-sportifs à gauche (écart-type de 14,8  $\mu\text{V}$ ) et de 108  $\mu\text{V}$  à droite (écart-type de 13,4  $\mu\text{V}$ ). Le TB moyen après le massage à gauche a diminué de 24,4% et de 31,5% à droite. Le test de Mann-Whitney nous décrit qu'il n'existe pas de différence de comportement du TA après le massage entre les populations de S et de NS (voir Figure 8).



**Figure 8 :** Evolution du TA moyen chez les sujets non-sportifs (G = gauche, D = droite)

## 5. DISCUSSION

### 5.1. Temps de travail et fatigue des gastrocnémiens

La course à pied est un parfait exemple d'activité physique où les gastrocnémiens ont un rôle important, puisqu'ils servent à la propulsion et à l'élévation. Notre étude comportait des sujets ayant une condition physique différente les uns des autres. Mais comment construire une épreuve afin que chaque sujet la finisse avec des muscles fatigués, lorsque l'on sait que la fatigue est relative au niveau d'entraînement des sujets ? Après les 20 minutes d'échauffement nous leur avons donné pour consigne de courir à une intensité qu'ils jugeaient soutenue mais qu'ils pouvaient maintenir pendant ce temps. Cette notion d'effort soutenu est assez subjective et assez peu reproductible.

Cependant nous jugeons qu'un effort aérobie d'une heure est suffisant pour produire des signes de fatigue musculaire. Une étude ayant pour objet l'étude du signal myo-électrique pendant le pédalage a demandé un effort constant de 1,15 Nm pendant 30 minutes. Les sujets devaient aussi maintenir une fréquence de pédalage donnée. Bien qu'ayant des conditions physiques différentes, les sujets ont donc dû se mesurer aux mêmes paramètres d'effort (23).

Un des travers de notre étude a été de négliger la quantification de l'intensité développée lors de l'effort, ce qui en limite la reproductibilité. Pour Poppendieck et col. (24), une étude ne mesurant pas la performance de façon quantitative n'est pas assez précise

pour figurer dans une revue de littérature.. Notre étude répond cependant à la proposition de Poppendieck (24), qui suggère que le sujet soit son propre témoin.

## 5.2. Position des gastrocnémiens

La position recommandée par le SENIAM pour l'évaluation du tonus des gastrocnémiens était en procubitus, genou tendu et pieds en dehors de la table. Cependant, le massage devait se faire sur un muscle détendu, afin de pouvoir le soulever, le déplacer. Nous avons donc choisi de réaliser notre protocole sans changer la position du genou, afin de limiter les contractions et les mouvements musculaires qui auraient pu induire des biais dans l'enregistrement des mesures. Par ailleurs le type de contraction demandé lors de l'enregistrement du TA est sujet à discussion : nous avons étudié la contraction des gastrocnémiens dans leur rôle de fléchisseurs plantaires en chaîne ouverte. Pourtant ce mouvement n'est pas fonctionnel lorsqu'on évalue ces muscles. Il aurait été préférable de les évaluer en chaîne fermée dans leur fonction d'extenseurs de genou sur un sujet debout. Toutefois cette méthode demande un changement de position entre les mesures et le massage. N'ayant trouvé dans la littérature d'informations sur le comportement des TB et TA lors des mouvements ou après un passage par la station debout, nous avons préféré maintenir le genou dans la même position tout au long de l'étude.

## 5.3. Type d'appareil EMGs utilisé

La thèse de Cao (25) démontre qu'il existe une relation entre le signal EMG et la force musculaire développée, cependant ce travail s'appuie sur l'EMGs intégré, un appareil de mesure plus précis que celui que nous avons utilisé et qui mesure l'activité électrique musculaire en hertz, plus précise, alors que nous avons utilisé un EMG de surface global, sans traitement du signal et où la seule variable est mesurée en  $\mu V$ . Ainsi, l'appareil que nous avons utilisé sert habituellement de *bio-feedback* dans les dynamométriques (26). Notre travail aurait donc gagné en précision avec l'utilisation d'un appareil EMG à signal intégré (EMGsi).

## 5.4. Paramètres modifiant la force du signal EMG

### 5.4.1. Distance entre les électrodes et la zone musculaire

D'après le SENIAM, l'augmentation de la distance entre l'électrode et la fibre musculaire pourrait diminuer la puissance du signal EMG (22). Nous avons placé nos

électrodes sur le corps musculaire des deux gastrocnémiens, au moyen d'un repérage palpatoire reproductible chez les sujets. De plus, nous savons que les électrodes doivent être éloignées des subdivisions du muscle, ou de muscles voisins, afin de n'enregistrer que les signaux du muscle cible. Or les électrodes étaient situées à égale distance de la séparation des deux gastrocnémiens. Plutôt que de placer les électrodes sur chaque corps musculaire des gastrocnémiens, nous aurions dû concentrer nos mesures sur un des gastrocnémiens en particulier et y placer les électrodes. Ainsi notre mesure aurait été plus fiable à défaut d'être globale. Si nous avions centré nos mesures sur le gastrocnémien médial, nous aurions posé les électrodes dans le sens longitudinal, sur la partie la plus proéminente du muscle.

#### 5.4.2. Les propriétés des tissus traversés

L'épiderme, le tissu adipeux sous-cutané sont des tissus anisotropiques, c'est-à-dire qu'ils jouent un rôle de filtre entre le muscle et les électrodes (27). De plus, suivant les personnes, la couche adipeuse est plus ou moins importante. Le signal reçu par l'EMGs sera donc inférieur au signal transmis par le muscle et ce, de façon différente selon les sujets et leur indice de masse grasse.

#### 5.4.3. Les électrodes

La composition des électrodes est conforme à la recommandation du SENIAM, soit Ag/AgCl. En effet celles-ci produisent un taux d'artefacts assez bas par rapport aux autres.

#### 5.4.4. La qualité du contact entre les électrodes et la peau

Les électrodes sont pré-gelées, ce qui réduit l'impédance du contact peau-récepteur (27). L'impédance représente dans notre cas la résistance que la peau va opposer au courant électrique. Il faudra que la conductibilité de la peau soit égale lors des différentes mesures, or l'échauffement des tissus dû à l'effort entraîne la sudation, le parcours de la séance de course à pied peut souiller les jambes des coureurs. C'est pourquoi nous avons lavé les jambes des sujets avec de l'alcool modifié avant chaque mesure.

### 5.5. Paramètres concernant le massage

#### 5.5.1. Efficacité du massage en fonction de l'évaluateur

Dans notre étude le massage a été réalisé par un étudiant en masso-kinésithérapie de troisième année. Nous savons que l'effet du massage est directement lié à l'expérience de celui qui le réalise : Moraska et col. ont demandé à 95 étudiants de 3 promotions ayant

respectivement 450, 700 et 950 heures de pratique, de masser 895 coureurs ayant terminé une course de 10 km. Un questionnaire comportant une EVA se rapportant aux douleurs musculaires a été rempli par les sujets en pré- et post-massage ainsi qu'à 24 et 48 heures après le massage. Cette étude met en lumière une diminution significativement plus importante des EVA dans le groupe massé par les étudiants ayant le plus d'expériences par rapport aux deux autres groupes et ce depuis la fin du massage jusqu'à 48 heures (28).

Dans notre étude, la même personne a administré les massages, les biais étaient donc intra-évaluateur. Les manœuvres étant rythmées et identiques d'un sujet à l'autre, Nelson et col. estime, tout comme nous, que la pression exercée sur les tissus reste une variable difficile à quantifier (29). En effet aucun apprentissage, ni aucun outil n'a été utilisé pour rendre uniforme la pression à exercer pendant les massages.

#### 5.5.2. Objectif du massage

L'objectif de la récupération sportive est de retrouver l'homéostasie des structures, c'est-à-dire l'équilibre des variables permettant le fonctionnement optimal des organes. Ainsi le massage n'a pas pour but de diminuer exagérément le TB et le TA mais de tendre à retrouver la valeur d'avant-course.

#### 5.5.3. Durée du massage

Dans notre pratique, nous avons été confrontés à une demande de massage de courte durée, dans le cadre d'une compétition sportive d'ultra-trail (Infernal Trail des Vosges, édition du 12 septembre 2015). Nous nous sommes demandé si un massage rapide, de 6 minutes dans notre cas, conservait ses propriétés par rapport à un massage plus long. Un précédent mémoire avait étudié l'efficacité d'un massage de 12 minutes. Il obtenait des variations significatives du tonus de base, diminuant, et du tonus d'action, augmentant après le massage. Une des hypothèses qui expliquerait le faible nombre de variations significatives dans notre travail serait la durée courte du massage. Ainsi le massage sportif court (< 6 minutes) n'aurait pas d'effet sur le tonus musculaire.

Dans la littérature, la durée des massages est très variable. Elle peut aller de 2 minutes pour Sykaras et col. (30) à 30 minutes chez Farr et col. (31). Des chercheurs brésiliens ont utilisé un massage de 7 minutes après un Iron Man (triathlon longue distance) (32), ce qui au vu de la durée de l'épreuve (une dizaine d'heure en moyenne) est

relativement court et appuie le choix de la longueur de notre massage. Leurs mesures comprenaient une EVA, une mesure de la fatigue perçue et le seuil de pression douloureuse. Les résultats indiquaient que le massage avait eu une efficacité sur la douleur et la fatigue perçue. Cependant il faut tenir compte du temps mais aussi de la surface massée. Ainsi les modifications de la physiologie du muscle sont différentes entre un massage du corps complet de 10 minutes (9) et un autre de la même durée mais réalisé sur un seul membre supérieur (33). Il aurait été intéressant de réaliser des mesures à des temps intermédiaires du massage, pour observer l'évolution des variables avec le temps. Ainsi nous aurions pu savoir à partir de quel instant le massage porte ses premiers fruits, et à partir de quand son effet bénéfique commence à diminuer.

#### 5.5.4. Effets du massage sur les douleurs musculaires retardées (*Delayed Onset muscle Soreness*)

Les douleurs musculaires d'apparition retardées sont assimilées aux courbatures dans le langage courant et sont le quotidien des sportifs. Elles sont le résultat d'une activité excentrique intense et inhabituelle et apparaissent dans un délai de 12 à 48 heures après l'effort.

En situation de course à pied, les muscles qui ont une activité excentrique sont principalement les quadriceps. Chez les coureurs avec une attaque médio-pied, le triceps sural effectue une contraction excentrique, car il amortit à chaque foulée l'accélération verticale du poids du sujet. L'effort excentrique prolongé crée des microlésions dans le tissu conjonctif et le cytosquelette. Une inflammation locale augmente alors la pression et la température du muscle, ce qui va augmenter la sensibilité des nocicepteurs présents dans le tissu musculaire (34). Il y a donc une production de radicaux libres, une diminution du pH et une insuffisance de la respiration mitochondriale. Les symptômes cliniques sont une augmentation de la douleur 12 à 48 heures post-exercice, une diminution de la force musculaire (de 40%), de la proprioception, des amplitudes articulaires et un œdème léger.

Un autre indicateur de la souffrance cellulaire est la concentration en créatine kinase (CK). Cet enzyme est libéré lors de la lyse cellulaire dans les 24 heures suivant l'exercice excentrique. Cependant cette concentration est maximale lors du 5<sup>ème</sup> jour au 7<sup>ème</sup> jour suivant. A ce sujet, Smith et col. ont soumis 14 sujets à un effort excentrique important ; 4 séries de 35 répétitions à résistance maximale sur le triceps et le biceps brachial, par la suite

un massage global du membre supérieur d'une durée de 25 minutes a été réalisé deux heures après l'effort chez 7 personnes. Les 7 autres personnes ont reçu l'application d'une crème sur le membre supérieur étudié. Enfin, des prélèvements sanguins ont été réalisés toutes les 24 heures jusqu'au cinquième jour post-effort. Cette étude démontre que le massage lorsqu'il est appliqué deux heures après l'exercice diminue de façon significative la concentration en CK du 1<sup>er</sup> au 5<sup>ème</sup> jour de cette recherche (35).

D'après les travaux de Zenuddin, Le massage aurait aussi un impact sur l'œdème (33). Le massage ayant sans doute un effet sur l'inflammation, une étude sur des lapins a été réalisée pour vérifier cette affirmation. Elle a stimulé la contraction excentrique du tibial antérieur puis des pressions glissées ont été réalisées pendant 15 minutes sur le muscle. Les concentrations en macrophages et en neutrophiles ainsi que la force maximale du muscle ont été enregistrées. La conclusion de cette recherche indique que l'inflammation diminuait lorsqu'un massage était réalisé immédiatement après l'exercice. Il est aussi associé à une diminution de la concentration des macrophages et des neutrophiles, marqueurs de l'inflammation (4).

Nous savons que les contractures peuvent être induites par l'activité physique, ce qui aurait donc tendance à augmenter ce tonus. Cependant les contractures apparaissent entre 12 et 48 heures après l'effort physique, nous avons réalisé nos mesures immédiatement après la course, ce qui écarte les contractures induites par l'exercice de notre étude. De plus, le signal électrique de ces dernières ne dépasse pas la barrière de la cellule musculaire. Il ne traduit donc pas par une augmentation de l'activité électrique sur l'EMGs (21).

## 5.6. Tonus de base

### 5.6.1. Eléments constitutifs du tonus de base

Le tonus de base pourrait être vu sous deux angles de compréhension ; d'un côté il pourrait être défini comme l'absence de variation neurologique, de l'autre comme l'absence de contraction musculaire.

De plus, le tonus musculaire intrinsèque comme notion mécanique se compose des propriétés élastiques et viscoélastiques des composants de l'unité contractile.

D'après Shleip et col. (36), la rigidité musculaire passive serait régulée en partie grâce à au pérymisium, sensible à la mécanostimulation et aux myofibroblastes, favorisant

la contraction musculaire des muscles toniques. Le tonus de base serait une continuité de tension dans une chaîne passant par les tissus et les tendons dont le muscle ne serait qu'un maillon. Cette théorie est à opposer à celles soutenant le fait que le tonus de base est réduit au réflexe de réponse à l'étirement, dû au fuseau neuromusculaire (11).

Le tonus de base se mesure sur un sujet et un muscle en état de relaxation complète, et représente un état de tension d'environ 1% de la contraction volontaire maximale (37). Ce tonus résiduel vient de la création de ponts actine-myosine, ce qui crée une force intrinsèque sur un muscle détendu. Dans notre étude, le TB moyen représente 6% du tonus à la contraction maximale demandée.

Une étude britannique a montré la relation entre le tonus et la rigidité musculaire. Avec le vieillissement, la rigidité musculaire et le tonus musculaire augmentent, alors que l'élasticité diminue (38). Ainsi, plus le tonus de base serait bas, meilleur serait le relâchement musculaire et moins il y aurait création de ponts actine-myosine ; ce qui serait un indicateur positif de l'état de fatigue du muscle.

Le TB évolue en fonction de l'âge, de l'intensité de l'activité physique et des propriétés hémodynamiques du muscle. Il réagit comme une variable d'ajustement en réaction aux différentes interactions qui s'imposent au muscle. De plus, la rigidité musculaire augmente avec l'hypertrophie, due à un entraînement en force. Ce dernier va augmenter le nombre de myosines dans les sarcomères, ainsi que le nombre de sarcomères eux-mêmes, ce qui va conduire à un épaississement des fibres musculaires et du muscle (39).

#### 5.6.2. Relâchement des sujets

Une des limites concernant le tonus de base est l'incapacité de certaines personnes à se relâcher complètement, un tonus d'action résiduel demeure alors (40). Il devient alors important de faire la différence entre un tonus de base élevé (hypertonie) et un tonus d'action sous-jacent à la consigne de relâchement. Nous donc avons laissé 5 minutes de repos au sujet à partir du moment où il s'allongeait avant de réaliser les enregistrements.

#### 5.6.3. Comparaison jambe dominante et non-dominante avant-après course à pied

La littérature montre que la différence de tonus entre les mêmes muscles gauche et droit, inférieure à 2.5% dans un échantillon de personnes âgées, n'est pas significative (41).

Dans notre étude, les différences bien qu'existantes ne sont pas significatives statistiquement non plus, les tonus de base avant la course ont un écart entre eux de 8% (5,67  $\mu$ V à gauche et 6,17  $\mu$ V à droite). Nous apprécions cependant que les mesures les plus hautes se trouvent du côté droit, membre dominant pour la majorité des sujets de notre étude.

Après la course, le tonus de base des deux jambes diminue, avec une plus forte progression du côté gauche (-30,86% à gauche et -14,75% à droite). Même si cette différence n'est pas significative à droite ( $p = 0,063$ ), elle traduit une tendance qui s'expliquerait par la surutilisation de la jambe dominante lors de l'activité physique. Le tonus de base étant plus haut du côté droit après la course à pied, les fibres musculaires sont toujours en tension, même au repos lorsque le sujet est allongé. Du côté gauche, une diminution réelle du TB a été relevée après la course ( $p < 0,05$ ).

D'autre part nous observons qu'au cours des trois mesures, le TB droit est toujours plus élevé qu'à gauche, ce qui peut indiquer que la rigidité et donc le tonus sont plus élevés du côté dominant. Cela peut être dû au fait que c'est majoritairement sur le membre dominant que le sujet va prendre appui lors d'un saut ou va se reposer lors de la station debout prolongée par exemple. Un muscle plus souvent sollicité aura donc un niveau de détente musculaire plus difficile à atteindre.

#### 5.6.4. Effets du massage sur le TB

Un TB supérieur à la moyenne traduira une hypertonie, dans un muscle sain nous parlerons de contractures, dans un muscle pathologique nous retrouverons les dystonies et la spasticité. Une hypotonie sera plus souvent liée à des lésions cérébrales, associées à une diminution de l'activité du motoneurone  $\alpha$  (21).

Entre la deuxième et la troisième mesure, le TB gauche suit une tendance à la diminution ( $p = 0,058$ ), contrairement au TB droit ( $p = 0,385$ ). Le TB à gauche diminue de 20% entre les deux dernières mesures, il diminue de 16% du côté droit. Cette diminution du tonus traduit une baisse de l'activité électrique musculaire au repos, ainsi moins de fibres musculaires sont contractées après le massage sur le muscle au repos. Cependant, cet écart de 4% n'est pas significatif. Pourtant, le test de comparaison des gains de Mann-Whitney montre une différence réelle ( $p < 0,05$ ) entre l'évolution des TB entre les deux jambes avant

et après le massage. Effectué immédiatement après l'activité physique, le massage n'a donc pas prouvé son efficacité sur le TB de façon tranchée.

#### 5.6.5. Comparaison Hommes vs. Femmes

D'après Agyapong-Badu et col., le droit fémoral est plus élastique chez les femmes que chez les hommes. Son étude a rassemblé 123 femmes et hommes et a mesuré le tonus, la rigidité et l'élasticité des muscles biceps brachial et droit fémoral (38). Ces trois paramètres mesurés pendant la même étude permet d'observer une relation entre eux.

D'autre part, une étude de Pisano et col. indique que l'index de rigidité musculaire (ISI : *intrinsic stiffness index*) est plus important chez les hommes (42). Cependant cet index fait appel aux propriétés viscoélastiques de structures non contractiles, ce qui est un autre aspect du tonus musculaire. Notre étude ne comportait que 5 femmes, nous n'avons donc pas réalisé de statistiques en fonction du sexe.

#### 5.6.6. TB et activité sportive

Lorsque l'immobilisation d'une articulation dépasse deux jours, l'activité des fibroblastes des muscles voisins augmente, ils produisent plus de collagène, les fascias intramusculaires vont se multiplier, et la rigidité des muscles va augmenter (43). Au contraire, lors de l'activité physique, le périmysium plus que tous les autres composants du muscle, va adapter son architecture aux mécanostimulations, augmenter la contractilité du muscle et diminuer sa rigidité (36). Tout au long de notre étude, le TB est plus bas et plus constant chez les S que chez les NS, cela peut être dû aux réponses adaptatives citées précédemment. L'évolution entre la première et la troisième mesure est de -51% chez les NS et de 30% chez les S sur la jambe massée. Cependant, aucune différence statistique n'a été détectée dans le TB post-massage entre les S et les NS.

### 5.7. Tonus d'action

#### 5.7.1. Différence tonus d'action G-D

Dans une étude réalisée par Lanshammar et col. les forces des quadriceps (Q) et des ischio-jambiers (IJ) des deux membres a été mesurée à l'aide d'un appareil d'isocinétisme Cybex chez 149 femmes. Ce travail conclut à une différence significative de force des IJ de 8,6% plus élevée du côté non-dominant par rapport au côté dominant. La force du Q était quant à elle 5,3% plus élevée du côté dominant. Le ratio IJ sur Q est inférieur de 22% du côté

dominant (43). Nous savons qu'il existe une relation proportionnelle entre la force musculaire et le TA (25), ce qui nous permet de les comparer. Ainsi, si une asymétrie dans la force de contraction maximale existe entre les deux membres, nous en déduisons que cette asymétrie peut se retrouver aussi dans le TA à la contraction maximale.

Nos résultats montrent qu'il existe une différence de 6% entre les TA des gastrocnémiens droit et gauche en faveur de ce dernier. Nous n'avons pas trouvé d'études comparant la force maximale des gastrocnémiens, afin de connaître l'origine de cette différence. Cependant nous pouvons penser que comme pour le TB, le membre dominant étant plus souvent sollicité, ce dernier voit ses fibres musculaires renforcés sur le long terme par rapport au membre controlatéral.

#### 5.7.2. Différence avant-après course

Lors d'un exercice où la fatigue musculaire va augmenter, pour obtenir la même force, le muscle va recruter plus d'unités motrices. Le recrutement spatial et temporel va permettre de conserver la même force musculaire malgré la fatigue. Nous observerons alors une augmentation du signal EMG. Une fois que toutes les unités motrices ont toutes été recrutées, le signal EMG chute, démontrant l'épuisement du muscle. Nous nous attendons donc à trouver un TA plus bas après la course (44).

Dans notre étude, les tonus d'action relevés sont intéressants car lors de la première mesure ils sont assez différents : Le TA à droite est de 112,1  $\mu\text{V}$ , alors que le TA à gauche, plus faible, est de 107,6  $\mu\text{V}$ , validant l'hypothèse selon laquelle il existe une différence de force entre les membres dominants et non-dominants. Après la course à pied, les deux valeurs du TA confirment notre hypothèse précédente et diminuent jusqu'à atteindre 98,3  $\mu\text{V}$  à droite (-12,3%), et 103,3  $\mu\text{V}$  à gauche (-5%). La baisse est plus importante du côté droit et la différence de TA avant-après course à droite est significative avec le test de Wilcoxon ( $p < 0,05$ ), ce qui traduit une fatigabilité accrue après la course des gastrocnémiens du côté droit due probablement à des efforts plus importants.

#### 5.7.3. Différence avant-après massage

Après le massage, les deux variables augmentent toutes les deux de façon symétrique à gauche (+4,54%) comme à droite (+3,14%). Le test de comparaison des gains de Mann-Whitney nous montre qu'il n'y a pas de différence entre les deux TA avant et après massage

( $p = 0,53$ ), le test de Wilcoxon quant à lui nous indique qu'il n'existe pas de différences entre les valeurs avant et après massage sur les deux jambes. D'autre part, le TA gauche à la troisième mesure revient à sa valeur au début de l'étude, avec une évolution entre les deux de 0,37%. Le massage n'a donc pas prouvé son efficacité sur l'évolution du TA dans notre étude.

#### 5.7.4. Contraction maximale ?

Nous avons enregistré le tonus d'action sur deux mesures, ce qui était un minimum pour avoir des données fiables. Cependant tenir une contraction statique pendant six secondes, qui plus est après une heure d'activité physique, peut déclencher des crampes. Certains sujets ont dû ne pas suivre la consigne de réaliser une contraction maximale, en dosant l'intensité pour ne pas déclencher de crampe. Nous pouvons nous demander si l'étude aurait été plus faussée par cette diminution de l'intensité de contraction, ou bien par l'activité électrique due à la crampe elle-même, qui est indépendante de la contraction volontaire.

#### 5.7.5. Tonus d'action, massage et activité sportive

D'après Strub (14), il n'existe de différence statistique entre les S et les NS qu'au niveau du TA en dehors de toute intervention. Dans notre étude, nous ne notons pas de différence significative de l'effet du massage sur le TA entre les S et les NS ( $p = 0,16$ ). Cela peut s'expliquer par le fait que les écarts-type étaient assez importants lors des mesures. Ils étaient les plus importants lors de la seconde mesure, respectivement de 23  $\mu V$  et 52  $\mu V$  à gauche et à droite. Nous aurions gagné en précisions en respectant un protocole plus rigoureux.

### 5.8. Un effet de seuil ?

Nous avons observé des variations des TA et TB lors de notre étude, mais ces variations suffisent-elles à produire un effet physiologique ou bien au contraire, le massage a-t-il eu des conséquences physiologiques sur la tension ou le relâchement des muscles malgré les faibles variations enregistrées ? Un autre travail de recherches pourrait mettre en évidence la relation entre la durée du massage et les variations des TB et TA.

## 6. CONCLUSION

Un précédent mémoire avait soutenu l'idée selon laquelle un massage permet de réduire le TB et d'augmenter le TA. Nous avons cherché à reproduire ces résultats sur des muscles après une épreuve d'effort. Dans notre étude, seul le TB varie de façon statistiquement significative après le massage ( $p = 0,05$ ). Le massage n'a donc pas prouvé son efficacité quant au TA. D'autre part, la littérature nous a fourni un grand nombre d'informations sur les variations du tonus musculaire en fonction de l'effort, mais ces données étaient recueillies grâce à des EMGs exprimant le tonus en Hz alors que le nôtre les donnait en  $\mu V$ . Nous n'avons donc pas pu nous baser sur les chiffres de la littérature et comparer les évolutions.

Un des défauts de l'étude est le mode de contraction du muscle. Nous aurions pu modifier notre test en recrutant le triceps sural dans une de ses composantes en chaîne fermée, plus physiologique, notamment en demandant au sujet debout de se mettre sur la pointe des pieds. Afin d'améliorer la réception du signal par les électrodes nous aurions dû raser la zone où nous devons les coller.

Pour améliorer notre travail, nous aurions pu utiliser des groupes ayant une condition physique assez homogène, comme un club d'athlétisme. Ainsi nous aurions pu leur imposer une épreuve d'effort pouvant être déterminée par une vitesse, du type : échauffement à l'allure de 10 km/h, puis 2 répétitions de 5 minutes à 17 km/h, en finissant par 20 minutes de récupération active à l'allure de 10 km/h.

En évaluant la différence de performance pré et post-massage, nous aurions pu, indépendamment des valeurs physiologiques comme les TB et TA, connaître les conséquences en termes de performance. Il se peut aussi qu'une variation même non significative des tonus permette un accroissement significatif de la performance, puisque les lois statistiques n'expliquent pas les lois physiologiques mais nous apportent seulement une description chiffrée.

Un autre travail de recherches pourrait mettre en évidence la relation entre la durée du massage et les variations des TB et TA afin de connaître la durée minimale permettant d'observer des résultats. Il aurait été intéressant enfin de comparer plusieurs techniques de récupération. Nous aurions pu faire un groupe de récupération passive comme cela a été fait

dans cette étude mais aussi un autre de récupération active en proposant une séance de pédalage de même durée que le massage.

## **BIBLIOGRAPHIE**

1. Diego MA, Field T, Sanders C, Hernandez-Reif M. Massage therapy of moderate and light pressure and vibrator effects on EEG and heart rate. *Int J Neurosci*. 2004 Jan;114(1):31-44.
2. Centre Française de Documentation et de Recherches sur le Massages [Internet]. [consultée le 1 mars 2016]. <http://www.cfdrm.fr/La-place-du-Massage-en-grece.htm>
3. Carcano Y, Isembrand B, Wieczorek G, Boudjema B. Le ressenti de sportifs lors d'un massage de récupération en termes de douleur et fatigue musculaires et de bien-être. *Kinésithérapie Rev*. 2010 Aug;10(104-105):46-50.
4. Haas C, Butterfield TA, Abshire S, Zhao Y, Zhang X, Jarjoura D, et al. Massage timing affects postexercise muscle recovery and inflammation in a rabbit model. *Med Sci Sports Exerc*. 2013 Jun;45(6):1105-12.
5. Dawson KA, Dawson L, Thomas A, Tiidus PM. Effectiveness of regular proactive massage therapy for novice recreational runners. *Phys Ther Sport*. 2011 Nov;12(4):182-7.
6. Crane JD, Ogborn DI, Cupido C, Melov S, Hubbard A, Bourgeois JM, et al. Massage therapy attenuates inflammatory signaling after exercise-induced muscle damage. *Sci Transl Med*. 2012 Feb 1;4(119):119ra13.
7. Crawford SK, Haas C, Butterfield TA, Wang Q, Zhang X, Zhao Y, et al. Effects of immediate vs. delayed massage-like loading on skeletal muscle viscoelastic properties following eccentric exercise. *Clin Biomech*. 2014 Jun;29(6):671-8.
8. D. Micklewright, M. Sellens, V. Gladwell, R. Beneke. Blood lactate removal using combined massage and active recovery. *Biol Sport*. 2006;23(4).
9. Ali Rasooli S, Koushkie Jahromi M, Asadmanesh A, Salesi M. Influence of massage, active and passive recovery on swimming performance and blood lactate. *J Sports Med Phys Fitness*. 2012 Apr;52(2):122-7.
10. Delextrat A, Calleja-González J, Hippocrate A, Clarke ND. Effects of sports massage and intermittent cold-water immersion on recovery from matches by basketball players. *J Sports Sci*. 2013 Jan;31(1):11-9.
11. Masi AT, Hannon JC. Human resting muscle tone (HRMT): Narrative introduction and modern concepts. *J Bodyw Mov Ther*. 2008 Oct;12(4):320-32.
12. Labarre-Vila A. [Assessment of muscle function in pathology with surface electrode EMG]. *Rev Neurol (Paris)*. 2006 Apr;162(4):459-65.
13. Thiery C, Dumarche P, Dingin M, Boirie Y, Felmann N, Poumarat G. Approche électromyographique de la fatigue musculaire. *Sci Sports*. 2001;16(3):165-7.

14. Maxime Strub. Etude de l'effet du massage sur le tonus musculaire; intérêt de l'électromyographie de surface. 2013. 35 p. Mémoire IFMK Nancy
15. République Française. Article R4321-3. Code de la santé publique.
16. Smith LL, Keating MN, Holbert D, Spratt DJ, McCammon MR, Smith SS, et al. The effects of athletic massage on delayed onset muscle soreness, creatine kinase, and neutrophil count: a preliminary report. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1994 Feb;19(2):93-9.
17. Haas C, Best TM, Wang Q, Butterfield TA, Zhao Y. In vivo passive mechanical properties of skeletal muscle improve with massage-like loading following eccentric exercise. *J Biomech.* 2012 Oct;45(15):2630-6.
18. Day JA, Stecco C, Stecco A. Application of Fascial Manipulation® technique in chronic shoulder pain—Anatomical basis and clinical implications. *J Bodyw Mov Ther.* 2009 Apr;13(2):128-35.
19. CHUPS Jussieu. Tonus et posture [Internet]. [cited 2016 Sep 4]. Available from: <http://www.chups.jussieu.fr/polysPSM/anatfonctPSM2/poly/POLY.Chp.3.html>
20. Association des Neurologues de Langue Française. Electromyogramme [Internet]. [Page consultée le 4 avril 2016]. <[http://www.docvadis.fr/docteur.jeromin/document/docteur.jeromin/pour\\_savoir\\_plus\\_sur\\_l\\_emg/fr/metadata/files/0/file/ELECTROMYOGRAMME.pdf](http://www.docvadis.fr/docteur.jeromin/document/docteur.jeromin/pour_savoir_plus_sur_l_emg/fr/metadata/files/0/file/ELECTROMYOGRAMME.pdf)>
21. Mense S, Gerwin R. Muscle pain understanding the mechanisms [Internet]. Berlin; London: Springer; 2010 [Page consultée le 6 avril 2016]. <http://public.ebib.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=645745>
22. Hermens HJ, Roessingh Research and Development BV, editors. European recommendations for surface ElectroMyoGraphy: results of the SENIAM project. Enschede: Roessingh Research and Development; 1999. 122 p. (SENIAM).
23. Knaflitz M, Molinari F. Assessment of muscle fatigue during biking. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng Publ IEEE Eng Med Biol Soc.* 2003 Mar;11(1):17-23.
24. Poppendieck W, Wegmann M, Ferrauti A, Kellmann M, Pfeiffer M, Meyer T. Massage and Performance Recovery: A Meta-Analytical Review. *Sports Med.* 2016 Feb;46(2):183-204.
25. Hua CAO. Modélisation et évaluation expérimentale de la relation entre le signal EMG de surface et la force musculaire. Université de Technologie de Compiègne; 2010.
26. Maitland ME, Ajemian SV, Suter E. Quadriceps femoris and hamstring muscle function in a person with an unstable knee. *Phys Ther.* 1999 Jan;79(1):66-75.
27. Scott Day. Important Factors in surface EMG measurement. Scott Day;
28. Moraska A. Therapist Education Impacts the Massage Effect on Posttrace Muscle Recovery: *Med Sci Sports Exerc.* 2007 Jan;39(1):34-7.

29. Nelson N. Delayed onset muscle soreness: is massage effective? *J Bodyw Mov Ther.* 2013 Oct;17(4):475–82.
30. Sykaras, E. | Mylonas, A. | Malliaropoulos, N. | Zakas, A. | Papacostas, Em. Manual massage effect in knee extensors peak torque during short-term intense continuous concentric–eccentric isokinetic exercise in female elite athletes. *Isokinet Exerc Sci.* 2003 Aug 27;11(3):153–7.
31. Farr T, Nottle C, Nosaka K, Sacco P. The effects of therapeutic massage on delayed onset muscle soreness and muscle function following downhill walking. *J Sci Med Sport.* 2002 Dec;5(4):297–306.
32. Nunes GS, Bender PU, de Menezes FS, Yamashitafuji I, Vargas VZ, Wageck B. Massage therapy decreases pain and perceived fatigue after long-distance Ironman triathlon: a randomised trial. *J Physiother.* 2016 Apr;62(2):83–7.
33. Zainuddin Z, Newton M, Sacco P, Nosaka K. Effects of massage on delayed-onset muscle soreness, swelling, and recovery of muscle function. *J Athl Train.* 2005 Sep;40(3):174–80.
34. Coudreuse J., Dupont P, Nicol C. Douleurs musculaires posteffort. *Ann Réadapt Médecine Phys.* 2004 Aug;47(6):290–8.
35. Baird MF, Graham SM, Baker JS, Bickerstaff GF. Creatine-Kinase- and Exercise-Related Muscle Damage Implications for Muscle Performance and Recovery. *J Nutr Metab.* 2012;2012:1–13.
36. Schleip R, Naylor IL, Ursu D, Melzer W, Zorn A, Wilke H-J, et al. Passive muscle stiffness may be influenced by active contractility of intramuscular connective tissue. *Med Hypotheses.* 2006 Jan;66(1):66–71.
37. Woledge, R.C. Filamentary resting tension and latency relaxation. In: *Molecular and Cellular Aspects of Muscle Contraction.* Plenum Publishers. New York; 2003. p. 679–81.
38. Agyapong-Badu S, Warner M, Samuel D, Stokes M. Measurement of ageing effects on muscle tone and mechanical properties of rectus femoris and biceps brachii in healthy males and females using a novel hand-held myometric device. *Arch Gerontol Geriatr.* 2016 Feb;62:59–67.
39. Morgan Vergne. Mécanismes de développement de la force. Power Point presented at;
40. Hannon JC. The physics of Feldenkrais®. *J Bodyw Mov Ther.* 2000 Apr;4(2):114–22.
41. Aird L, Samuel D, Stokes M. Quadriceps muscle tone, elasticity and stiffness in older males: Reliability and symmetry using the MyotonPRO. *Arch Gerontol Geriatr.* 2012 Sep;55(2):e31–9.
42. Pisano F, Miscio G, Colombo R, Pinelli P. Quantitative evaluation of normal muscle tone. *J Neurol Sci.* 1996 Feb;135(2):168–72.

43. Lanshammar K, Ribom EL. Differences in muscle strength in dominant and non-dominant leg in females aged 20–39 years – A population-based study. *Phys Ther Sport*. 2011 May;12(2):76–9.
44. Jurell KC. Surface EMG and fatigue. *Phys Med Rehabil Clin N Am*. 1998 Nov;9(4):933–47, viii – ix.

## **ANNEXES**

## ANNEXE I = FICHE DE RECUEIL

### Fiche de recueil

**Nom :**

**Prénom :**

**Sexe :**

**Age :**

**Taille :**

**Poids :**

**Nombre d'heure de sport/semaine :**

**Antécédents au membre inférieur gauche (fractures, entorses, déchirure musculaire, tendinite, opération...) :**

**Prise de médicaments récents (décontractants, analgésiques...) ou au long cours :**

**Moi (prénom et nom)**

**, accepte de participer à cette étude**

**Signature :**

**ANNEXE II = TONUS DE BASE DES INDIVIDUS COTE GAUCHE**

	TB (1) G	TB (2) G	TB (3) G	Gain TB G entre (2) et (3)
1	3,0	2,0	2,0	0,00
2	2,0	4,0	2,0	-50,00
3	2,0	5,0	4,8	-9,35
4	3,0	6,0	2,0	-66,67
5	2,0	3,0	3,0	0,00
6	2,0	3,2	3,0	-5,26
7	5,0	9,5	2,3	-75,00
8	9,8	5,2	5,0	-8,23
9	2,0	2,0	2,0	0,00
10	4,5	2,0	2,0	0,00
11	9,0	3,0	3,0	0,00
12	6,3	6,3	2,0	-63,42
13	5,0	2,7	2,0	-25,00
14	6,0	4,0	4,0	0,00
15	6,0	3,2	2,2	-31,58
16	8,0	8,7	9,0	5,85
17	9,7	3,0	2,0	-33,33
18	4,7	2,0	2,0	0,00
19	5,0	2,0	1,8	-8,33
20	4,0	2,0	2,0	0,00
21	11,2	2,0	5,0	150,00
22	8,0	1,8	2,3	27,27
23	6,5	5,5	3,2	-42,42
24	11,3	6,2	6,5	5,41

**ANNEXE III = TONUS DE BASE DES INDIVIDUS COTE DROIT**

	TB (1) D	TB (2) D	TB (3) D	Gain TB D entre (2) et (3)
1	3,0	2,0	2,0	0,00
2	2,0	4,0	3,0	-25,00
3	3,0	5,0	6,0	20,00
4	3,0	6,0	8,0	33,33
5	1,5	3,0	8,0	156,67
6	6,3	3,2	4,0	25,32
7	15,7	9,3	4,7	-50,00
8	3,0	5,2	3,0	-41,94
9	2,0	2,0	4,0	100,00
10	3,5	2,0	2,2	3,33
11	4,8	3,0	9,2	205,56
12	3,7	6,3	3,8	-39,47
13	6,7	2,7	2,0	-25,00
14	4,3	4,0	5,0	25,00
15	6,0	3,2	4,3	36,84
16	5,0	8,7	6,5	-25,00
17	4,3	3,0	2,0	-33,33
18	6,2	2,0	3,0	50,00
19	4,0	2,0	2,3	41,67
20	3,0	2,0	2,5	25,00
21	13,3	2,0	5,0	150,00
22	14,3	1,3	2,0	9,09
23	11,0	5,5	9,0	63,64
24	13,5	6,2	4,0	-35,14

**ANNEXE IV = TONUS D'ACTION DES INDIVIDUS COTE GAUCHE**

	TA (1) G	TA (2) G	TA (3) G	Gain TA G entre (2) et (3)
1	170,5	145,0	102,0	-29,65
2	180,0	124,5	125,0	0,40
3	100,0	195,0	125,0	-35,90
4	123,5	157,0	144,0	-8,28
5	87,5	99,0	75,0	-24,24
6	105,0	48,0	130,5	171,88
7	85,0	90,0	99,5	10,55
8	81,5	124,5	30,0	-75,90
9	90,0	90,5	109,0	20,44
10	69,5	46,5	67,0	44,09
11	91,5	101,5	104,0	2,45
12	118,0	84,5	91,5	8,28
13	123,5	88,5	103,0	16,38
14	100,0	33,0	36,0	9,08
15	104,5	26,0	33,0	46,15
16	93,0	71,5	97,5	36,26
17	98,5	110,0	74,0	-32,73
18	109,0	94,5	114,5	21,16
19	79,5	103,5	103,5	0,00
20	113,0	109,0	116,0	6,42
21	114,0	100,0	124,5	24,50
22	99,0	67,0	121,0	80,60
23	115,5	123,0	129,0	4,88
24	130,0	146,5	331,5	34,48

**ANNEXE V = TONUS D'ACTION DES INDIVIDUS COTE DROIT**

	TA (1) D	TA (2) D	TA (3) D	Gain TA D entre (2) et (3)
1	170,5	59,0	114,5	54,07
2	180,0	120,0	78,5	-84,58
3	100,0	95,5	78,5	-17,80
4	89,0	89,0	52,0	-41,57
5	100,0	92,5	66,5	-28,11
6	106,0	116,0	58,5	-50,42
7	103,0	124,5	123,5	-0,80
8	99,0	24,0	99,0	311,50
9	90,5	91,0	108,5	19,23
10	105,0	99,5	84,5	-15,08
11	100,0	107,0	60,5	-43,46
12	116,0	81,0	97,5	20,37
13	117,5	98,0	102,0	4,08
14	85,0	73,0	77,0	5,48
15	100,0	34,5	64,0	85,51
16	97,0	44,0	109,0	147,73
17	118,0	89,0	77,5	11,32
18	110,0	91,0	104,5	13,53
19	105,5	103,5	105,5	1,93
20	123,0	119,0	117,5	-1,26
21	112,5	99,5	119,0	19,60
22	104,5	95,5	129,0	37,97
23	129,0	128,0	128,5	0,39
24	126,5	304,5	278,0	-8,70