

MINISTÈRE DE LA SANTÉ
RÉGION LORRAINE
INSTITUT RÉGIONAL DE FORMATION EN MASSO-KINÉSITHÉRAPIE
DE NANCY

**EFFET DE L'APPLICATION D'UN PROTOCOLE
D'ÉLECTROSTIMULATION DE TRÈS BASSE
FRÉQUENCE SUR L'EXTENSIBILITÉ DES
MUSCLES ISCHIO-JAMBIERS.**

Mémoire présenté par Céline GIRARD
étudiante en 3^{ème} année de masso-kinésithérapie
en vue d'obtention du Diplôme d'État
de Masseur-kinésithérapeute.
2013-2014.

SOMMAIRE :

RÉSUMÉ

1. INTRODUCTION	1
2. RAPPELS	3
2.1. Modélisation du muscle.....	3
2.2. Types de fibres musculaires.....	4
2.3. Muscles ischio-jambiers	5
2.3.1. Anatomie et fonctions	5
2.3.2. Choix des ischio-jambiers et conséquence de leur rétraction	6
2.4. Rappels sur l'électrostimulation	6
3. MATÉRIEL ET MÉTHODE	8
3.1. Méthode de recherche bibliographique	8
3.2. Population.....	9
3.3. Matériel.....	10
3.4. Protocole expérimental	10
3.4.1. Choix et réalisation du test d'extensibilité	11
3.4.2. L'installation	13
3.4.3. La séance d'électrostimulation	13
3.4.4. La séance de repos.....	15
3.5. Méthode statistique.....	15
4. RÉSULTATS	16
4.1. Description de la population étudiée	16
4.2. Étude de la reproductibilité intra examinateur du test d'extensibilité	19

4.3. Description des résultats obtenus en termes de gains d'extensibilité.....	19
4.3.1. Comparaison de l'effet avant/après de chaque séance.....	19
4.3.2. Comparaison des gains après les deux séances en fonction du sexe.....	22
4.4. Analyse du ressenti du sujet	23
5. DISCUSSION.....	23
5.1. À propos de la population étudiée	24
5.2. À propos du test d'extensibilité choisi	25
5.3. Analyse et interprétation de l'effet avant/après de chaque séance	26
5.4. Analyse et interprétation de l'effet avant/après des séances en fonction du sexe	28
5.5. Analyse du ressenti du sujet	28
5.6. À propos du protocole d'électrostimulation choisi.....	29
6. CONCLUSION.....	30

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

RÉSUMÉ :

Le but de ce travail d'initiation à la recherche est d'apprécier l'effet d'un protocole d'électrostimulation de très basse fréquence (4Hz, 200 μ s, 15minutes) sur l'extensibilité des muscles ischio-jambiers et le ressenti des sujets.

30 étudiants de l'IFMK de Nancy ont réalisé deux séances («témoin» et «électrostimulation») à un jour d'intervalle. L'ordre des séances a été tiré au sort. Avant et après chaque séance, la mesure de l'angle poplité a été prise. Durant la séance d'électrostimulation, une stimulation de très basse fréquence est appliquée sur la face postérieure de la cuisse des sujets pendant 15 minutes. Durant la séance témoin, les sujets restent au repos pendant 15 minutes. Lors des deux séances, le sujet est allongé, hanche et genou homolatéraux fléchis et maintenus par un système poulie.

Les résultats montrent une diminution significative de l'ordre de 2,3° +/- 1,1° après la séance « repos » (p=0,003), et de 5,8° +/- 1,4° après la séance « électro » (p=0,0002). Ceux-ci sont tous deux statistiquement significatifs. Cependant, seul l'effet après la séance d'électrostimulation est cliniquement significatif. La comparaison des gains avant et après met en évidence un gain d'amplitude significativement plus élevé après électrothérapie que après repos (-18,3% +/- 12,7 versus -7,3% +/- 8,9, p<0,0001). Il faut également remarquer qu'il y a un gain d'amplitude significativement plus élevé chez les femmes que chez les hommes (-23,5% +/- 10,4 versus -14,1% +/- 13,2, p=0,046) après électrostimulation.

Ainsi, il semble que l'application d'une stimulation électrique de très basse fréquence entraîne une diminution de l'angle poplité. Cette diminution s'explique par le fait que l'électrostimulation semble provoquer, selon différentes études, une vasodilatation locale et une augmentation de la température cutanée et sous cutanée, essentiellement dû aux contractions musculaires induites. Cet échauffement local entraîne une diminution de la viscoélasticité musculaire et donc une augmentation de l'extensibilité des ischio-jambiers.

Mots clés : stimulation électrique basse fréquence/excito-moteur par secousses élémentaires, ischio-jambiers, extensibilité.

Key words : low frequency electrical stimulation/burst, hamstring, flexibility.

1. INTRODUCTION :

L'électrothérapie fait partie des techniques d'électro-physiothérapie, outils quotidiens et complémentaires à la pratique manuelle de la masso-kinésithérapie. Elle peut être définie par l'utilisation de courants électriques comme moyen thérapeutique. Elle a un large champ d'application, qui s'étend de plus en plus depuis ces dernières années et fait l'objet de nombreuses études.

Parmi les facteurs qui peuvent jouer sur l'extensibilité musculaire il y a la composante de viscoélasticité du muscle et la tolérance à l'étirement du sujet. L'application de TENS semble pouvoir agir sur ces deux phénomènes : d'une part, en ralentissant la transmission de la douleur et d'autre part, en diminuant la viscoélasticité, si elle arrive à augmenter la température locale.

Un certain nombre d'études ont été consacrées à l'effet de l'application d'un courant électrique sur la température cutanée et sous cutanée ainsi que le débit sanguin local cutané et musculaire. La majorité d'entre elles se sont concentrées sur la neurostimulation électrique transcutanée (TENS). Les résultats de ces études sont variables et leur divergence est essentiellement due au choix des paramètres de stimulation : fréquence et intensité de stimulation. Certaines aboutissent à une augmentation de ces paramètres [1], [2], une autre ne montre aucun effet [3] et enfin quelques unes enfin, à une tendance à la diminution de ceux-ci [4]. Les résultats se basent sur l'hypothèse d'un effet inhibiteur ou excitateur du système sympathique.

Une étude s'est même penchée sur l'effet de l'application d'un courant de haute fréquence sur l'extensibilité musculaire des ischio-jambiers : Maciel & Camara [5] ont étudié l'effet d'un protocole d'étirement (trois fois 30 secondes par jour) associé ou non à l'application d'un protocole TENS (100 Hertz, 40 μ s, 10 minutes) une fois par jour, cinq jours par semaine, pendant deux semaines sur l'extensibilité musculaire. Les conclusions sont que l'utilisation de TENS associée à un protocole d'étirement n'augmente pas plus l'extensibilité musculaire que le protocole d'étirement seul.

D'autre part, il semble que la stimulation de très basse fréquence ait également des effets probants sur la température locale, même supérieure à ceux de plus haute fréquence selon certaines études.

Cramp, Gilsenan, Lowe, & Walsh [6] étudient l'effet de l'application de TENS à haute (110 Hertz, 200 μ s) et basse (4 Hertz, 200 μ) fréquence pendant 15 minutes sur le débit sanguin et la température cutanée locale au niveau de l'avant bras. Les résultats montrent qu'il n'y a pas de différence de température quelle que soit la fréquence, cependant il y a une augmentation du débit sanguin local après stimulation de basse fréquence.

Cramp, McCullough, Lowe & Walsh [7] s'intéressent au courant de basse fréquence (4 Hertz, 200 μ s) de même que Sherry, Oehrlein, Hegge & Morgan [8] (2 Hertz, 200 μ s). Ces deux études concluent que l'augmentation de la température et du débit sanguin local est plus probablement due à l'intensité de stimulation (plus élevée que dans le cas d'une stimulation de haute fréquence), si celle-ci est suffisante pour engendrer des contractions musculaires, qu'à un effet sur le système sympathique

Sandberg, Sandberg, & Dahl [9] ont réalisés une étude sur l'évolution du débit sanguin musculaire et cutané local au niveau des trapèzes durant l'application de TENS à haute (80 Hertz, 200 μ s) ou basse (2 Hertz, 200 μ s) fréquence pendant 15 minutes. Ils concluent que les contractions induites lors de la stimulation à basse fréquence engendrent une augmentation du débit sanguin dans le muscle trapèze stimulé.

Scudds, Scudds & Scudds [10] appliquent des électrodes au niveau médial et latéral de la main avec un courant de basse (4 Hertz), de haute (110 Hertz) fréquence ou sans courant pendant 30 minutes. L'étude montre qu'il y a une augmentation de la température locale au niveau de la main significativement plus élevée après électrostimulation de basse fréquence par rapport à celle de haute fréquence ou de la séance contrôle. Dans tous les cas, il n'y a aucune différence de température au niveau des doigts. Ceci montre que l'effet de la stimulation électrique sur le plan vasculaire et thermique est localisé aux structures proches des électrodes.

Les courants de très basse fréquence ou excito-moteurs par secousses élémentaires, sont indiqués pour favoriser la circulation locale, la récupération musculaire et la relaxation.

L'application d'un courant excito-moteur par secousses élémentaires (de très basse fréquence et de haute intensité) engendre une alternance de contractions et décontractions musculaires entraînant un échauffement. L'échauffement produit une augmentation de température locale ce qui permet de jouer sur la viscoélasticité en la diminuant et donc d'augmenter l'extensibilité musculaire. A partir de cette constatation physiologique, il semble intéressant de tenter d'évaluer l'effet de l'application d'un protocole d'électrostimulation par secousses élémentaires sur l'extensibilité musculaire de même que sur le ressenti du sujet post-stimulation.

La seconde partie de ce mémoire comporte des rappels théoriques expliquant le choix des muscles ischio-jambiers et les notions de base de l'électrostimulation. Dans la troisième partie, nous présentons la méthode de recherche bibliographique, la population étudiée, le protocole expérimental ainsi que la méthode d'analyse statistique. Enfin les deux dernières parties permettent de décrire et de discuter les résultats obtenus.

2. RAPPELS PHYSIOLOGIQUES :

2.1. Modélisation du muscle [11]:

Chaque muscle peut être représenté suivant le modèle de Hill modifié par Shorten en 1987 (Figure 1) ; il est décrit sur un modèle à trois composantes : la composante contractile (CC), la composante élastique parallèle (CEP) et la composante élastique série (CES) avec prédominance préférentielle de l'une ou l'autre selon leur caractère phasique ou tonique.

La composante contractile correspond anatomiquement aux myofilaments d'actine et myosine, qui sont organisés en ponts. Ils forment les sarcomères qui sont les unités fonctionnelles contractiles et responsables de la contraction musculaire. Ils sont générateurs de force et sont les plus sensibles à l'étirement.

La composante élastique parallèle correspond au sarcolemme (membrane d'enveloppe des fibres musculaires), aux enveloppes de tissus conjonctifs (fascias), elle est moins sensible à l'étirement.

La composante élastique série correspond aux tendons et jonctions myo-tendineuses formant la fraction passive ainsi que la strie Z/H au niveau des ponts d'actine-myosine qui constitue la fraction active de cette CES. Elle est très peu sensible à l'étirement.

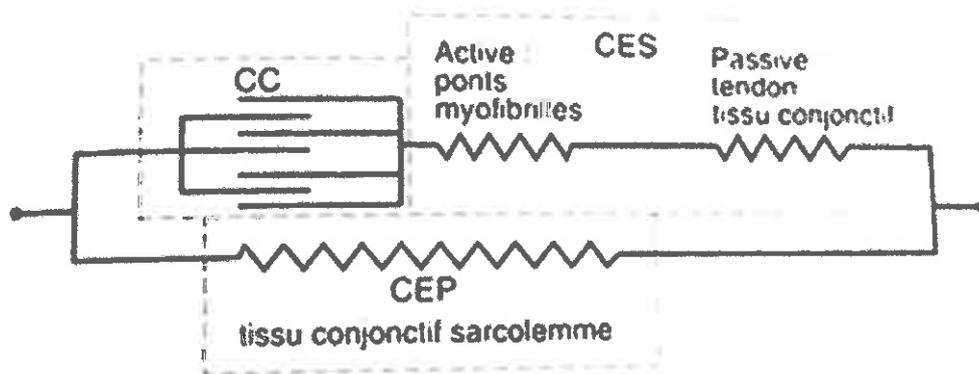


Figure 1 : Modélisation de Hill modifiée par Shorten

2.2. Types de fibres musculaires [11]:

Il existe schématiquement deux types de fibres musculaires dont la concentration individuelle dépend du patrimoine génétique et de l'activité physique pratiquée, l'entraînement pouvant modifier la proportion d'un type de fibres par rapport à l'autre.

Tout d'abord, il existe les fibres musculaires de type I. Il s'agit de fibres rouges à contraction lente, elles contiennent un nombre élevé de mitochondries ainsi qu'un réseau capillaire dense. Elles participent au métabolisme oxydatif (aérobie), sont sollicitées dans les exercices aérobies ou de longue durée et sont donc peu fatigables. Les muscles constitués majoritairement de fibres de type I sont dit toniques ou posturaux. Ils ont tendance à se rétracter.

Enfin, il y a les fibres musculaires de type II qui sont des fibres blanches à contraction rapide et de forte intensité, pauvres en mitochondries. Elles participent au métabolisme anaérobie, sont sollicitées dans les efforts brefs et intenses et sont donc très fatigables. Les

muscles constitués majoritairement de fibres de type II sont dit phasiques. Ils ont le plus souvent tendance à s'affaiblir.

2.3. Muscles ischio-jambiers :

2.3.1. Anatomie et fonctions [12, 13, 14, 15]:

Les ischio-jambiers forment la loge postérieure de la cuisse et sont composés de trois muscles : le semi-membraneux et le semi-tendineux médialement et le biceps fémoral latéralement. Ce dernier est divisé en deux chefs, la longue et la courte portion (ANNEXE I).

Au niveau proximal, ils prennent tous insertion par un tendon commun au niveau de la tubérosité ischiatique, exceptée la courte portion du biceps fémoral qui naît au niveau des deux tiers inférieurs de la lèvre latérale de la ligne âpre qui se situe à la face postérieure du fémur. Au niveau distal, leurs insertions sont distinctes :

- Le semi-membraneux a trois insertions distales : une insertion directe par l'intermédiaire d'un tendon au niveau de la face postéro-médiale de l'extrémité supérieure du tibia et du muscle poplité ; une seconde, dite réfléchie, au niveau de la partie antéro-médiale de l'épiphyse tibiale par une terminaison tendineuse ; la troisième, dite récurrente grâce à des fibres tendineuses au niveau supérieur de la coque condylienne latérale et de la fabella.
- Le semi-tendineux se termine par un tendon au niveau du quart supérieur de la face médiale du corps du tibia, zone surnommée «la patte d'oie».
- le biceps fémoral s'achève par un tendon commun aux deux portions au niveau du versant postéro-latéral de la tête de la fibula (en dehors du ligament collatéral fibulaire) donnant également des expansions à la capsule tibio-fibulaire, au condyle tibial latéral et au fascia jambier.

Leurs actions dynamiques en chaîne ouverte sont l'extension de hanche (sauf pour la courte portion du Biceps) et la flexion de genou, le frein de l'extension en excentrique. Ils ont également une composante rotatoire au niveau du genou (latérale pour le biceps et médiale pour le semi-membraneux et semi-tendineux). En chaîne fermée, ils sont responsables d'une rétroversion du bassin en force et assurent le contrôle rotatoire du genou.

2.2.2. Choix des ischio-jambiers et conséquence de leur rétraction :

Les muscles ischio-jambiers ont une forte proportion de fibres conjonctives (notamment le semi-membraneux et le semi-tendineux dont la teneur en tissus fibreux est importante) et sont préférentiellement composés de fibres musculaires de type I ou lentes. Ils sont donc dits toniques. Ils ont une activité plutôt statique, sont responsables du maintien de notre posture et de notre équilibre statique. Les composantes élastiques série et parallèle prédominent dans les ischio-jambiers, ce qui explique leur tendance à se rétracter. Ils sont biarticulaires donc ils ont une influence à la fois sur la hanche et sur le genou.

Leur rétraction peut entraîner ou fixer des troubles de la statique rachidienne et des membres inférieurs : rétroversion de bassin, délordose lombaire, flexum de genou ; ou de la dynamique : surcharge lombaire. Elle est souvent retrouvée dans des pathologies telles que la lombalgie, dans les suites de chirurgie de hanche ou genou mais également chez les sportifs (sports collectifs, course à pied...)

2.4. Rappels sur l'électrostimulation [16, 17]:

Le courant optimal est un courant à état variable, ce qui signifie que son intensité varie par impulsions. Ces impulsions sont rectangulaires à front raide, bidirectionnelles, symétriques à moyenne nulle. Le courant bidirectionnel à moyenne nulle n'est pas polarisé, le pôle positif et négatif s'inverse à chaque impulsion, ce qui exclut le risque de brûlures chimiques (brûlures dues aux effets électrolytiques des courants unidirectionnels ; le risque de brûlures physiques, reste néanmoins présent, en cas d'intensité de stimulation trop élevée). La symétrie signifie qu'il y a la même impulsion sous chaque électrode. L'impulsion rectangulaire à front raide a une pente d'établissement brève, elle permet une bonne efficacité pour une intensité moindre. Toutes ces caractéristiques en font un courant confortable et efficace, qui est utilisé dans la quasi-totalité des traitements par électrostimulation.

L'électrostimulation consiste à déclencher un potentiel à l'aide d'une impulsion. La rhéobase est l'intensité minimale avec une impulsion à début brusque et à durée infinie pour obtenir une contraction.

La largeur ou la durée d'impulsion se règle en fonction de la chronaxie du muscle que l'on désire stimuler. La chronaxie est la durée minimale d'une impulsion à début brusque et d'intensité double à la rhéobase pour obtenir le seuil de la contraction. Elle est située entre 100 et 700 μ s pour les muscles sains, normalement innervés (faible pour les muscles à majorité de fibres rapides, élevée pour les muscles à fibres lentes). Plus elle est faible, plus l'intensité pour avoir une stimulation équivalente est élevée, et donc moins l'impulsion est confortable.

La fréquence de stimulation correspond au nombre d'impulsion par seconde ; elle s'exprime en Hertz. Inférieure à 10 Hertz, le courant est appelé courant de très basse fréquence, il entraîne une unique réponse motrice appelée secousse élémentaire, c'est le cas dans cette étude. Supérieure à 10 Hertz et jusqu'à 100 Hertz, le courant est dit de basse fréquence, il y a sommation temporelle entraînant téτανisation des fibres de type I dans un premier temps (téτανisation parfaite atteinte vers 35 Hertz) puis seulement des fibres de type II (téτανisation finale à 65 Hertz).

L'intensité de stimulation est propre à chaque sujet. Pour un protocole d'excito-moteur par secousses élémentaires, elle doit être suffisamment élevée pour être au dessus du seuil de contraction musculaire (les contractions doivent être visibles et palpables), mais rester en dessous du seuil douloureux. Ainsi, pour le réglage de l'intensité nous demandons au sujet de nous indiquer trois seuils d'intensité :

- premier seuil : le sujet ressent des fourmillements,
 - second seuil : le sujet ressent des battements,
 - troisième seuil : le sujet ressent des battements dont l'amplitude doit être maximale.
- Ceux-ci doivent néanmoins rester supportables, sous le seuil douloureux.

L'intensité permet de jouer sur le recrutement spatial des unités motrices. Plus l'intensité est élevée, plus les fibres en profondeur et à distance du lieu de stimulation sont recrutées. Ce phénomène est appelé sommation spatiale.

Afin d'éviter tout phénomène d'accoutumance (processus par lequel une structure excitable soumise à des stimuli répétés augmente son seuil d'excitabilité et devient moins

excitable au bout d'un certain temps), il est possible d'utiliser la modulation ou variation de différents paramètres : durée d'impulsion, fréquence, intensité.

Il est important de connaître les spécificités du recrutement électro-induit : se sont les mêmes unités motrices qui sont recrutées tout le long de la stimulation et ce de manière synchrone, les fibres les plus rapides ou de type II sont stimulées en priorité du fait de la fréquence de stimulation [18, 19].

Les principales contre-indications absolues à l'application d'un tel courant sont : la présence d'un stimulateur cardiaque (pacemaker) ou d'un neuromodulateur, la présence de lésions cutanées, d'un foyer infectieux ou tumoral, la suspicion de phlébite ou de grossesse, des antécédents d'épilepsie. Il est également contre-indiqué de stimuler l'aire cardiaque ou la région antérolatérale du cou. De plus, il existe des contre-indications relatives qui sont la présence de pièces métalliques (matériel d'ostéosynthèse, prothèse, agrafes, stérilet...) et une hypo ou anesthésie cutanée [20].

Les courants de basse et de très basse fréquence permettent un effet excito-moteur et antalgique. Les applications de ces courants sont multiples. A propos de l'électrostimulation de très basse fréquence, utilisée dans ce travail d'initiation à la recherche, elle permet un éveil musculaire et proprioceptif, elle est utilisée pour faciliter la circulation, pour la relaxation et la décontraction musculaire, pour assouplir les tissus fibrosés et dans le cadre de la récupération du sportif. Les courants de basse fréquence eux sont plus couramment utilisés dans le cadre du renforcement musculaire, de correction de troubles orthopédiques (recentrage de la patella ou de la tête humérale par exemple). L'association des deux types de courant concourt à la lutte contre l'amyotrophie, l'amélioration des troubles trophiques, la diminution des contractures [21].

3. MATÉRIEL ET MÉTHODE :

3.1. Méthode de recherche bibliographique :

La recherche documentaire a été effectuée entre le mois d'octobre 2013 et de février 2014, ceci à l'aide de différents moteurs de recherche que sont la Cochrane Library, Pubmed,

PEDro, Kiné Scientifique, EM consult, ScienceDirect, le serveur de l'ILFMK ainsi que dans 3 centres de recherche : la bibliothèque universitaire Santé, la bibliothèque universitaire Sciences et Techniques ainsi que Réédoc.

Les mots clés utilisés sont les suivants : en français, «stimulation électrique de basse fréquence»/«excito-moteur par secousses élémentaires», «ischio-jambiers», «extensibilité», «température», «débit sanguin», «angle poplité», «inclinomètre». En Anglais : «low frequency electrical stimulation»/«burst», «hamstring», «flexibility», «temperature», «blood flow», «popliteal angle», «inclinometer». Ils ont été utilisés seuls ou en association. Les documents ont été sélectionnés en fonction de leur titre, de la lecture du résumé et enfin de la date de parution afin d'en conserver les plus pertinents. Nos recherches ont également été complétées par des articles issus des bibliographies des documents sélectionnés.

À la suite de ces différentes étapes, 39 documents ont été retenus et figurent dans la bibliographie de ce mémoire.

3.2. Population :

L'étude se fait sur une unique population de 30 volontaires, tous étudiants de l'IFMK de Nancy (16 hommes et 14 femmes, âge : 21,3 ans +/- 1,4 ans, avec un âge maximum de 25 ans et un âge minimum de 18 ans).

Les critères d'inclusion de cette étude sont : toute personne volontaire ayant entre 18 et 28 ans, étudiante à l'IFMK de Nancy (1^{ère} et 3^{ème} années).

Les critères de non inclusion sont la présence de pathologies des membres inférieurs ou de douleurs pouvant gêner la réalisation de cette étude, un angle poplité initial mesuré inférieur à 10°, toute personne présentant des contre-indications à l'application d'un courant excito-moteur (lésions cutanées, foyers infectieux/tumoraux, grossesse, phlébite, présence d'un pacemaker), toute personne ayant plus de 28 ans.

Au final, nos analyses ont porté sur 29 sujets (16 hommes et 13 femmes, âge : 21,3 ans +/- 1,5 ans). En effet, parmi les 30 étudiants volontaires, un sujet a déclenché une crampe

dans la fesse droite pendant la mesure post-repos. Par conséquent, pour éviter de biaiser notre étude, nous avons préféré l'exclure.

3.3. Matériel :

Nous utilisons une table de massage électrique réglable en hauteur, une cage de pouliothérapie, trois élingues, une sangle, un niveau à bulle, un mètre ruban, un thermomètre, un crayon dermatographique, un appareil d'électrothérapie Cefar Rehab X2 à 2 canaux, des électrodes de 9 x 5 cm. Un inclinomètre de type Rippstein est utilisé pour la réalisation du test d'extensibilité, connu pour être un outil de mesure plus fiable et reproductible que le goniomètre si la méthode de mesure est standardisée [22, 23] (ANNEXE II).

3.4. Protocole expérimental :

Deux séances sont réalisées pour chaque sujet à un jour d'intervalle. Il est connu que l'extensibilité musculaire varie selon le rythme circadien, la température ambiante. Ainsi, dans un souci de reproductibilité, les séances se sont déroulées au même horaire et lieu, en vérifiant que la température de la pièce soit semblable (entre 20 et 22 degrés). Le plan d'une séance est le suivant :

- Réalisation d'un test d'extensibilité des ischio-jambiers de départ,
- Repos de 15 minutes ou application d'un courant excito-moteur par secousses élémentaires d'une durée de 15 minutes,
- Réalisation d'un test d'extensibilité des ischio-jambiers final.

L'ordre de réalisation de la séance de repos ou de la séance d'électrostimulation est choisi aléatoirement.

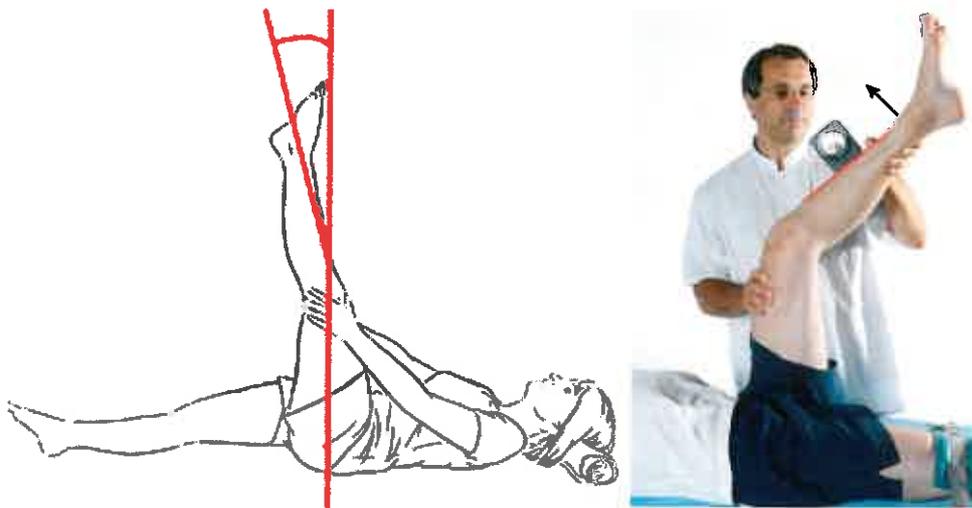
Dans un premier temps, le sujet est informé par le biais de la feuille d'information de l'objectif et des conditions de l'étude et a pu poser toutes les questions qu'il souhaitait. Il a ensuite signé un formulaire de consentement et rempli un questionnaire (ANNEXE III).

3.4.1. Choix et réalisation du test d'extensibilité:

Les principes d'un test d'extensibilité musculaire sont de choisir une position de départ standardisée, de respecter les plans, de le réaliser sur le temps expiratoire afin d'obtenir un relâchement musculaire et de déterminer une position d'arrivée qui permet de stopper le test avant toutes compensations.

De nombreux tests existent et sont utilisés pour estimer l'extensibilité musculaire des ischio-jambiers. Le test de l'angle poplité ou extension du genou avec hanche à 90° est choisi car il implique de manière moindre le rachis lombaire et le bassin et engendre moins de mise en tension au niveau des structures neuronales comparé au Straight Length Raise, au Sit and Reach Test ou au Toe Touch Test (distance doigt-sol) [24-28].

L'angle poplité correspond à un angle formé entre la verticale et le segment jambier, le segment fémoral étant maintenu à la verticale (Figures 2 et 3).



Figures 2 et 3 : Angle poplité ([37], [29])

Passivement réalisé par le masseur-kinésithérapeute (MK), ce test permet d'apprécier la mise en tension maximale des muscles postérieurs de la cuisse. Il est également réalisé de manière active par le patient seul grâce à la contraction du muscle antagoniste (quadriceps) au muscle étiré qui lui, reste au repos, ce qui permet d'avoir un meilleur contrôle nociceptif et d'éviter une contraction réflexe des muscles ischio-jambiers sur le principe de l'innervation réciproque de Sherrington (pendant la contraction des muscles antagonistes, la contraction des

muscles agonistes est inhibée). Activement, il permet d'apprécier la mise en tension initiale du muscle [25].

Quelques auteurs se sont intéressés à la reproductibilité et fiabilité du test de l'angle poplité. Gabbe, Bennell, Wajswelner, & Finch montrent une bonne reproductibilité intra (ICC = 0,95 ; SEM = 3°) et inter examinateur (ICC = 0,93 ; SEM = 4°) de ce test [30]. Gajdosik & Lusin évaluent la reproductibilité test-retest (coefficient de corrélation de Pearson = 0,99) [25]. Enfin, deux études ont été menées sur la reproductibilité inter testeur seule : Rakos et al., (ICC = 0,79) [27] et Norris & Matthews, 2005 (ICC = 0,76 ; SEM = 3,6°) [26]. Ainsi, malgré différentes conditions de réalisation du test de l'angle poplité en actif, les conclusions de chacune de ces études convergent vers une bonne reproductibilité intra et inter testeur.

Dans un souci de reproductibilité des mesures, un repère est préalablement dessiné à une distance de 15 cm en partant de la pointe de la patella grâce à un mètre ruban, signant la place de l'inclinomètre sur la jambe du sujet lors de la mesure [30].

La réalisation du test se fait avec le sujet placé en décubitus dorsal sans coussin triangulaire sous la tête. Le segment fémoral homolatéral est placé à la verticale (hanche fléchie à 90°) grâce à un niveau à bulle en repérant le grand trochanter et l'épicondyle latéral. Il est maintenu ainsi par un montage de pouliothérapie similaire au mémoire de Bellini [31]. L'autre membre inférieur repose sur la table en extension complète de hanche et de genou.

Le MK est placé homolatralement au côté testé, parallèlement à la table. Afin d'éviter la compensation par rétroversion du bassin lors du test, nous utilisons un contrôle visuel sur l'épine iliaque antéro-supérieure.

Le sujet tend le genou, en gardant le segment fémoral vertical, le pied complètement relâché en flexion plantaire pour éviter la mise en tension du triceps et donc de la chaîne postérieure [32]. Le membre inférieur controlatéral reste contre la table.

La position finale dépend de la tension développée par le muscle quadriceps du sujet et de l'extensibilité disponible dictée par la perception du sujet lui-même pour aller au maximum.

Le test est stoppé dès lors que le membre inférieur se met à trembler [25], il s'agit du point de résistance initial correspondant à la tension initiale des ischio-jambiers : il y a une alternance de contraction-décontraction des muscles quadriceps et ischio-jambiers. A cet instant, le MK demande au sujet de ne pas aller plus loin mais au contraire de re-fléchir légèrement le genou afin que ce tremblement cesse. C'est alors que notre main caudale applique l'inclinomètre contre la jambe du sujet au niveau du repère dermatographique.

La mesure est faite à deux reprises juste avant la séance et est renouvelée deux fois directement après.

3.4.2. Installation :

Le sujet est placé en décubitus dorsal avec un coussin triangulaire sous la tête, pour son confort. La hanche est fléchie à 90° et le genou fléchi repose sur un coussin triangulaire (Figure 4). Le coussin sous la tête est retiré lors des tests pré et post séance.



Figure 4 : Installation du sujet pendant une séance type

3.4.3. La séance d'excito-moteur :

Pour une raison pratique, lors de la séance comportant d'électrostimulation, le placement des électrodes se fait avant l'installation pour le test. Les points moteurs des ischio-jambiers sont variables (Figure 5) entre les individus donc nous plaçons les électrodes au

niveau des corps musculaires [14, 33]. Pour cela, le sujet est placé en procubitus, Dans un souci de reproductibilité, la distance entre le creux poplité et l'ischion est mesurée à l'aide d'un mètre ruban. Le bord inférieur de l'électrode inférieure est placé à un tiers de la distance mesurée en partant du creux poplité, et le bord supérieur de l'électrode supérieure à un cinquième de la distance mesurée en partant de l'ischion.

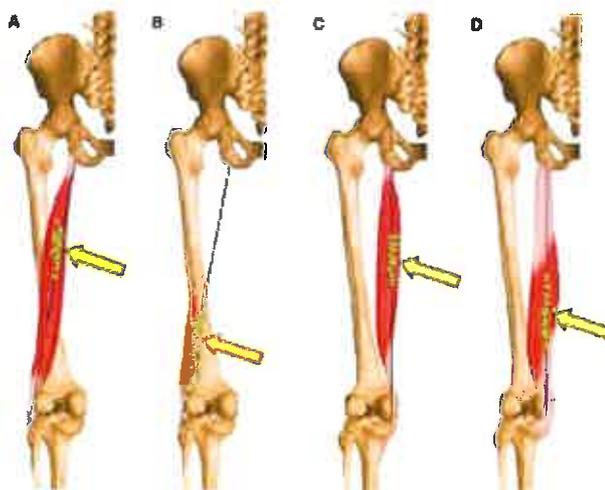


Figure 5 : Points moteurs des ischio-jambiers (A : longue portion du biceps, B : courte portion du biceps, C : semi tendineux, D : semi membraneux) [33]

Il est démontré que plus la surface des électrodes est importante, meilleure est la répartition du courant et donc meilleure est l'efficacité et le confort de la stimulation [16, 17]. C'est pour cela que nous avons choisi deux larges électrodes de 9 x 5 cm. La stimulation est dite bipolaire active car le courant perçu sous les deux électrodes est le même.

Pendant la stimulation, le sujet est placé en décubitus dorsal avec un coussin triangulaire sous la tête. La hanche est maintenue fléchi à 90°, le genou est fléchi et repose sur un coussin triangulaire (Figure 3). La position est choisie sur trois critères : le confort du patient, la course des ischio-jambiers (course moyenne-externe) et l'efficacité d'application du courant électrique. En effet, il est préférable d'installer le patient sur les électrodes, le poids du corps du sujet augmentant la surface en contact avec l'électrode.

Un courant excito-moteur par secousses élémentaires également connu sous le nom de courant de très basse fréquence et d'intensité élevée (TBF IE) est appliqué au niveau des ischio-jambiers. Les impulsions sont rectangulaires, bidirectionnelles à moyenne nulle.

La fréquence de stimulation et la durée d'impulsion sont choisies en fonction du protocole qui a démontré une augmentation de la température et du débit sanguin local pendant une séance d'électrostimulation. La largeur d'impulsion est de 200 μ s, elle correspond à la chronaxie de muscles normalement innervés, mais est inférieure à la chronaxie des muscles ischio-jambiers (muscles toniques et endurants, ils ont une chronaxie plus élevée) ; la fréquence choisie est de 4 Hertz, elle engendre des secousses élémentaires et est indiquée dans la relaxation des fibres musculaires (ANNEXE IV).

L'intensité de stimulation est réglée au troisième seuil (le sujet ressent des battements dont l'amplitude est maximum mais en dessous du seuil douloureux).

Il est important de veiller à l'efficacité du courant pendant toute la durée de stimulation : les contractions musculaires doivent être nettes, visibles pendant les 15 minutes.

3.4.4. La séance de repos :

Le sujet est placé en décubitus dorsal avec un coussin triangulaire sous la tête, pour son confort. La hanche est fléchie à 90° et le genou fléchi repose sur un coussin triangulaire, ceci durant 15 minutes.

3.5. Méthode statistique :

La reproductibilité intra testeur a été recherchée avec le calcul du coefficient de corrélation interclasse dont la valeur varie entre 0 (pas de corrélation) et 1 (très bonne corrélation) ainsi que de l'erreur de mesure accompagnées d'intervalles de confiance.

À chacune des séances, l'angle poplité a été mesuré avant et après repos ou protocole excitomoteur. La variation de cet angle a été quantifiée en degrés ainsi qu'à partir d'un gain exprimé en pourcentage de variation entre la mesure avant (T1) et la mesure après (T2). Il a été calculé de la façon suivante : $(T2-T1)/T1 \times 100$.

Des statistiques descriptives ont été réalisées afin de décrire la population étudiée ainsi que le ressenti des sujets post-électrothérapie.

Nous avons testé la normalité de distribution du paramètre angle poplité grâce au test de Skewness et Kurtosis, qui a confirmé que ce paramètre suivait une loi normale.

Ainsi, pour comparer l'effet avant et après des deux différentes séances sur la mesure de l'angle poplité, nous avons fait une analyse de variance de type ANOVA à mesures répétées à deux facteurs, le facteur «séance» («repos», «électrostimulation») et le facteur «avant/après». Les comparaisons post-hoc ont été réalisées grâce au test de HSD de Tukey. Le test t de Student pour séries appariées a été utilisé pour comparer les gains d'amplitude entre les deux séances chez les femmes (gain repos femme/gain électrostimulation femme) et chez les hommes (gain repos homme/gain électrostimulation homme).

Enfin, la différence de gain entre les hommes et les femmes à chacune des séances (gain repos homme/gain repos femme et gain électrostimulation homme/gain électrostimulation femme) a été comparée grâce au test t de Student pour groupes indépendants.

Les valeurs de $p \leq 0,05$ sont considérées comme significatives.

4. RESULTATS :

4.1. Description de la population étudiée :

La population étudiée est composée de 30 étudiants à l'IFMK de Nancy, volontaires, présentant un angle poplité supérieur à 10° et dont l'âge est compris entre 18 et 25 ans. Un sujet a été exclu afin de ne pas biaiser les résultats. Elle compte au final 45% de femmes et 55% d'hommes (Figure 6).

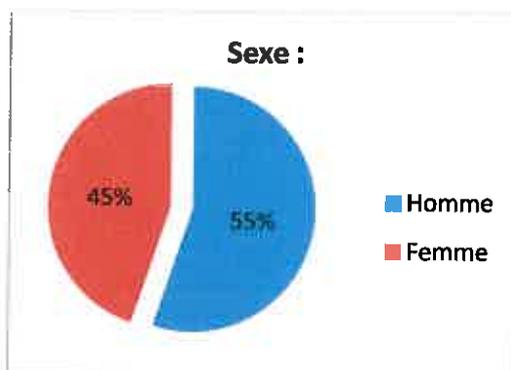


Figure 6 : Diagramme de représentation du sexe de la population étudiée.

L'Indice de Masse Corporel (IMC) moyen dans la population est de $21,4 \text{ kg/m}^2$; les femmes ont un IMC de $20,9 \text{ kg/m}^2$ et les hommes de $21,9 \text{ kg/m}^2$.

La valeur moyenne de l'angle poplité initial est de $32,1^\circ \pm 9,4$, elle est de $27,7^\circ \pm 8,8^\circ$ chez les femmes et de $35,8^\circ \pm 7,9^\circ$ chez les hommes.

Les antécédents et pathologies du membre inférieur et du rachis ont également été recherchés. Au niveau du membre inférieur : 83% des personnes ne présentaient aucun antécédent ou pathologie, 7% avaient des antécédents d'entorse, de rupture ou de ligamentoplastie du ligament croisé antérieur (LCA), 4% présentaient des douleurs au niveau du genou, 3% des contractures au niveau des ischio-jambiers (IJ) et 3% avaient des antécédents de déchirure du muscle Biceps Fémoral (Figure 7a). Au niveau rachidien, 69 % des sujets ne présentaient aucun antécédent ou pathologie, 10% avaient des douleurs lombaires, 10% une attitude scoliotique ou une scoliose, 7% une inégalité de longueur des membres inférieurs (ILMI) et 4% de l'arthrose (Figure 7b).

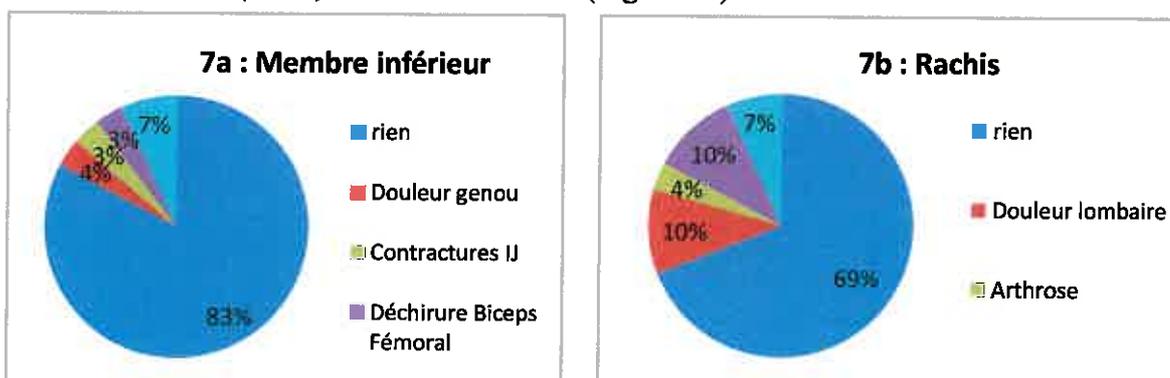


Figure 7 : Diagrammes de représentation des antécédents et pathologies du membre inférieur (7a) et du rachis (7b) dans la population étudiée.

Enfin, la pratique sportive et la réalisation d'étirements ont également été étudiées. Concernant la durée de la pratique de sport en heures par semaine, elle est inférieure ou égale à 1 heure pour 11% de la population, comprise entre 2 et 3 heures pour 32%, entre 4 et 5 heures pour 22% et supérieure à 5 heures par semaine pour 21% de la population ; 14% de la population ne fait aucune activité sportive (Figure 8a). Les sports pratiqués sont très variés et illustrés sur un histogramme (Figure 8b). On peut noter que 45% de la population fait de la marche ou de la course à pied, 20 % du vélo, 20 % de la natation.

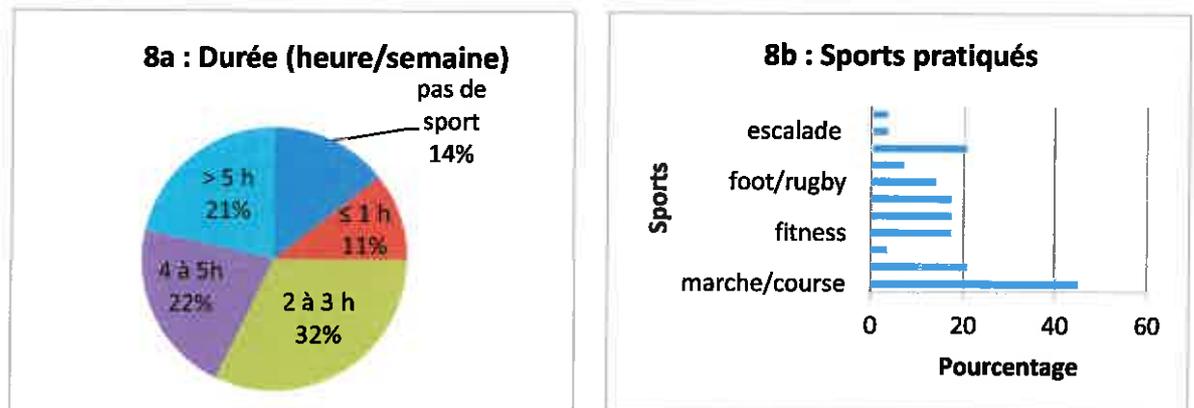


Figure 8 : Diagrammes et Histogrammes de représentation de la durée de la pratique sportive (8a) et du type de sports (8b) dans la population étudiée

Concernant la pratique d'étirement, près de 50 % des étudiants disent réaliser des étirements des ischio-jambiers (Figure 9a). Parmi ceux-ci, 24% s'étirent 1 fois par semaine, 7% 2 fois et 17% plus de 3 fois par semaine (Figure 9b).

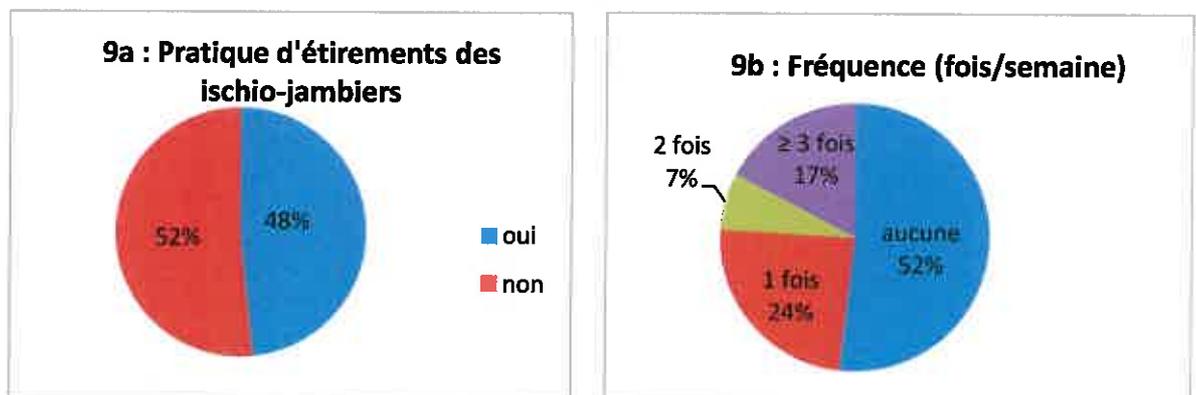


Figure 9 : Diagrammes de représentation de la pratique d'étirement des ischio-jambiers (9a) et de leur fréquence (9b) dans la population étudiée.

4.2. Étude de la reproductibilité intra examinateur du test d'extensibilité :

Pour tester la reproductibilité intra examinateur du test d'extensibilité choisi lors de cette étude, nous avons comparé T1 repos et T1 électro afin de calculer le coefficient de corrélation interclasse (ICC) dont la valeur varie entre 0 (pas de corrélation) à 1 (très bonne corrélation). Il est ici de 0,90 ce qui signe une reproductibilité intra testeur très élevée (étant donné qu'il se situe entre 0,8 et 0,99). Son intervalle de confiance (IC) varie de [0,79 à 0,95]. De plus, l'erreur de mesure (standard error of the mean) est calculée. Elle est de l'ordre de 3,16 ° avec un IC de [2,51° à 4,27°].

4.3. Description des résultats obtenus en termes de gains d'extensibilité :

4.3.1. Comparaison de l'effet avant/après de chaque séance :

Effet exprimé en degrés :

L'ANOVA montre qu'il existe un effet principal du facteur «séance» ($p=0,003$), un effet principal du facteur «avant/après» ($p<0,0001$), ainsi qu'une interaction entre les deux facteurs ($p<0,0001$), ce qui signifie que les deux séances («repos» et «électro») n'ont pas eut le même effet sur le paramètre étudié (Figure 10).

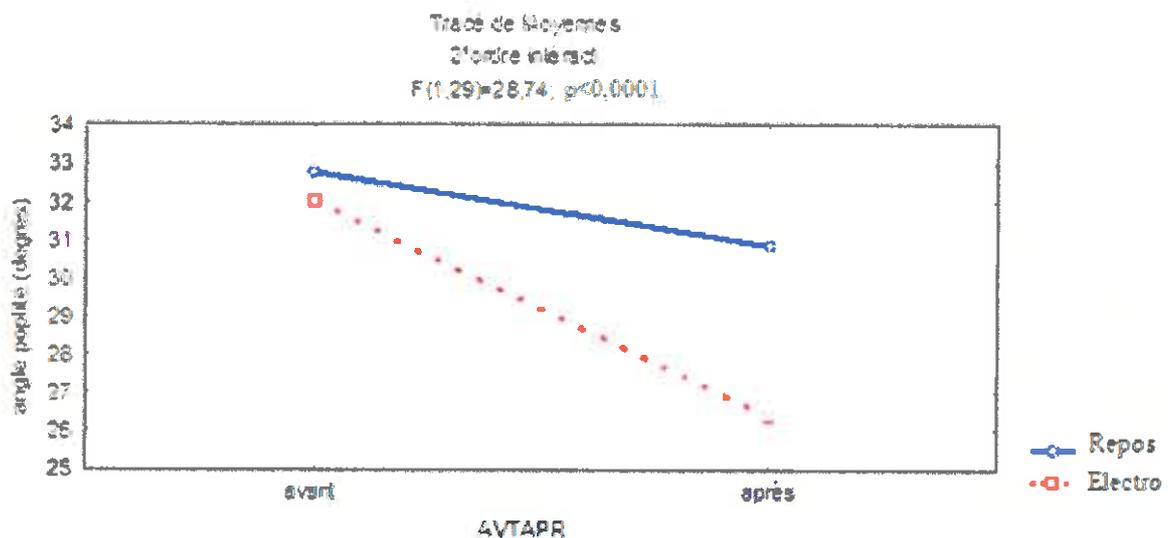


Figure 10 : Comparaison des variations de l'angle poplité avant et après les séances de repos et d'électrostimulation.

Les comparaisons post-hoc indiquent une absence de différence significative des mesures initiales de l'angle poplité entre chaque séance ($p=0,34$), alors qu'une différence significative apparaît pour les mesures finales ($p=0,0002$). De plus, par rapport aux valeurs initiales, ces analyses montrent une diminution significative de l'angle poplité de l'ordre de $2,3^\circ$ après la séance «repos» ($p=0,003$), ainsi qu'une diminution de l'ordre de $5,8^\circ$ après la séance «électro» ($p=0,0002$).

D'autre part, il est important de s'intéresser à la «signification» clinique de nos résultats, plus représentatif que la «signification statistique». En effet, une étude peut avoir des résultats statistiquement significatifs ($p < 0,05$) sans pour autant que cela traduise un gain utile et significatif sur le plan clinique. Le meilleur moyen pour mettre en évidence cela est d'étudier la différence des groupes par leur moyenne et leur intervalle de confiance aussi appelé $IC_{95\%}$. Il s'agit de l'intervalle autour de la moyenne qui contient 95% des valeurs. A partir de la moyenne (m), de l'écart type (σ) de chaque série de mesure et de l'effectif de la population (n), nous avons calculé l'intervalle de confiance grâce à la formule suivante :

$$m \pm \frac{1,96 \times \sigma}{\sqrt{n}}$$

Figure 11 : Formule de l' $IC_{95\%}$

Dans cette étude, le critère de jugement de l'efficacité ou non de l'électrostimulation sur l'extensibilité musculaire est la diminution de l'angle poplité ($^\circ$). La figure 12 représente les moyennes des différences de l'angle poplité (T2-T1) et leur intervalle de confiance obtenus au cours des 2 séances (repos, électro). On accorde communément une marge d'erreur au goniomètre, outil de mesure de 5° . Plusieurs études démontrent que l'inclinomètre de Rippstein, utilisé dans cette étude, est un outil plus fiable que le goniomètre. De plus, l'erreur de mesure calculée précédemment est de $3,16^\circ$. Ainsi nous définissons arbitrairement une valeur seuil de 4° comme étant le plus petit effet clinique qui vaille la peine d'être obtenu. Elle est représentée par la ligne pointillée. La ligne verticale à zéro représente la ligne d'absence d'effet.

Au repos, l'angle poplité a diminué en moyenne de $2,3^\circ$ avec un IC de $1,05^\circ$, c'est à dire que pour 95% des personnes cet écart avant/après était compris entre $-1,4^\circ$ à $-3,4^\circ$. Lors

de la séance d'électrostimulation, l'angle poplité a diminué en moyenne de $5,8^\circ$ avec un IC de $1,41^\circ$ signifiant que 95% des sujets ont perdu entre $4,4^\circ$ et $7,2^\circ$.

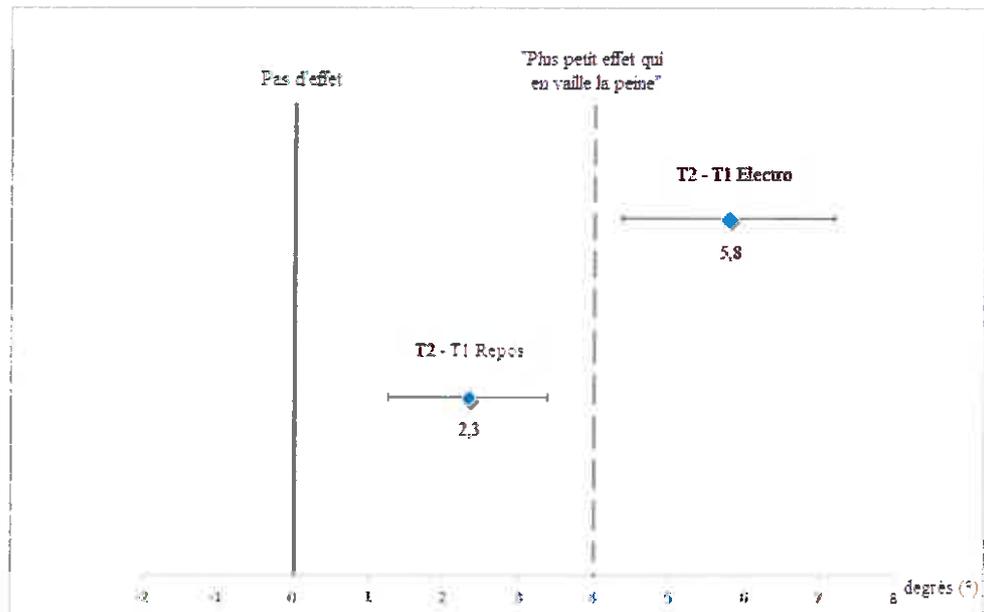


Figure 12 : Comparaison des valeurs relatives des moyennes (IC_{95%}) entre la séance de repos et d'électrostimulation

Effet exprimé en pourcentage de gains : $(T2 - T1)/T1 \times 100$

Les comparaisons des gains mettent en évidence un gain d'amplitude significativement plus élevé après électrostimulation par rapport au gain obtenu après repos ($-18,3\% \pm 12,7$ versus $-7,3\% \pm 8,9$, $p < 0,0001$) (Figure 13).

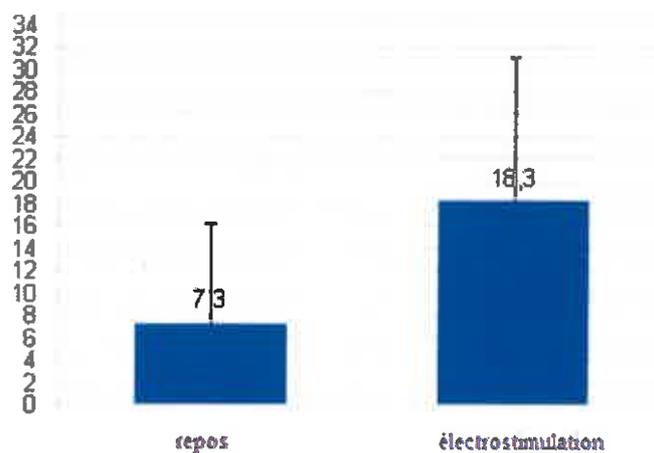


Figure 13 : Gains moyens obtenus après repos et électrostimulation dans la population

Chez les hommes, la comparaison des gains met en évidence un gain d'amplitude significativement plus élevé après électrostimulation par rapport au gain obtenu après repos (-14,1% +/- 13,2 versus -5,3% +/- 8,1, $p=0,003$) (Figure 14a).

Chez les femmes, la comparaison des gains met en évidence un gain d'amplitude significativement plus élevé après électrostimulation par rapport au gain obtenu après repos (-23,5% +/- 10,4 versus -9,8% +/- 9,5, $p=0,004$) (Figure 14b).

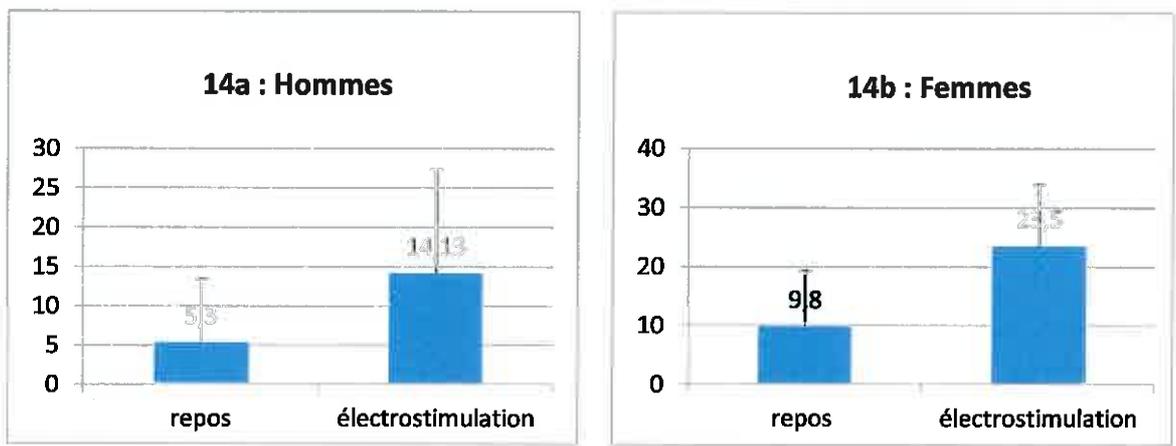


Figure 14 : Gains moyens obtenus après repos et électrostimulation chez les hommes (14a) et chez les femmes (14b).

4.3.2. Comparaison des gains après les deux séances en fonction du sexe :

La comparaison des gains après repos chez les deux sexes montre qu'il n'existe pas de différence significative entre le gain d'amplitude obtenu chez les femmes et le gain obtenu chez les hommes (-9,8% +/- 9,5 versus -5,3% +/- 8,1, $p=0,18$) (Figure 15a).

La comparaison des gains après électrostimulation met en évidence un gain d'amplitude significativement plus élevé chez les femmes par rapport au gain obtenu chez les hommes (-23,5% +/- 10,4 versus -14,1% +/- 13,2, $p=0,046$) (Figure 15b).

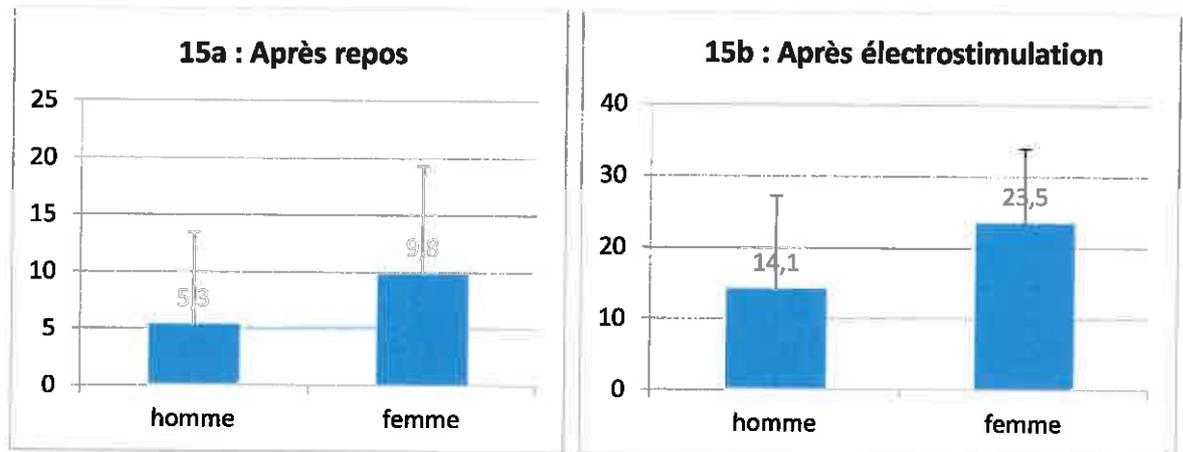


Figure 15 : Gains moyens obtenus chez les hommes et les femmes après repos (15a) et après électrostimulation (15b).

4.4. Analyse du ressenti du sujet :

Après la séance d'application d'un protocole d'électrostimulation, il a été demandé au sujet de nous indiquer son ressenti après avoir fait quelques pas sans lui donner d'indications : il se trouve que 51,7 % des sujets se sont sentis plus souples, détendus, relâchés ou ont ressenti une diminution de la sensation d'étirement lors du test post séance ; 58,6% se sont sentis plus léger et 34,5% des sujets n'ont senti aucune différence. Il faut également noter que 17,2% des sujets ont eu des fourmis dans le pied après la séance de repos ou d'électrostimulation.

5. DISCUSSION :

Ce travail d'initiation à la recherche a permis d'étudier de manière objective et subjective l'effet d'une séance d'électrostimulation (4 Hertz, 200 μ s, 15 minutes) sur la valeur de l'angle poplité et ainsi sur l'extensibilité musculaire des ischio-jambiers.

5.1. À propos de la population étudiée:

La population étudiée est globalement assez bien répartie puisqu'il y a 45% de femmes et 55% d'hommes, leur âge moyen est de 21,3 ans +/- 1,5 ans. La moitié des sujets pratique une activité sportive dont la fréquence et le type sont variables. De même, près de la moitié des étudiants fait, au moins une fois par semaine, des étirements des ischio-jambiers.

L'angle poplité de départ est variable, allant de 10° au minimum à 55° au maximum. La valeur moyenne de l'angle poplité initial est de 32,1° +/- 9,4°, elle est de 27,7° +/- 8,8° chez les femmes et de 35,8° +/- 7,9° chez les hommes. Corkery & all [34] ont étudié les normes de différents tests du membre inférieur dont l'angle poplité en actif chez 72 sujets âgés de 18 à 22 ans. Une barre fixe horizontale était utilisée pour maintenir la hanche à 90° de flexion. Sur la jambe droite, ils trouvent un angle moyen de 26,8° +/- 13,3°, avec 22,5° +/- 12,4° chez les femmes et 35,0° +/- 11,3° chez les hommes. Les moyennes de nos mesures de départ sont légèrement plus élevées, les femmes sont plus raides dans notre étude que dans la précédente. Ceci est dû à la sélection de l'échantillon : en effet, les sujets ayant un angle poplité inférieur à 10° n'ont pas été inclus dans cette étude. Cependant, nous retrouvons la différence d'extensibilité entre les hommes et les femmes, tout comme dans l'étude menée par Youdas & all [35] qui s'intéresse à l'influence du genre et de l'âge sur l'extensibilité des ischio-jambiers en mesurant lui, l'angle poplité en passif.

Nous ne pouvons pas nier qu'il puisse exister un biais de sélection de l'échantillon. En effet, les sujets choisis sont tous étudiants à l'IFMK de Nancy et ont quelques notions au moins sur l'électrothérapie et son effet, sur les tests d'extensibilité, ce qui a pu les influencer et les amener à tenter d'aller plus loin lors de la deuxième mesure.

Les séances se sont déroulées chaque jour au même créneau horaire (entre 12h30 et 14h) afin de limiter au maximum la variation d'extensibilité en fonction du moment de la journée (diminution de l'extensibilité le matin). Cependant, celle-ci varie également en fonction de la régulation hormonale (les femmes sont plus souples que les hommes, influence de la période du cycle chez les femmes), de l'âge, de la fatigue du sujet (modification circulatoire entraînant une diminution des phosphates et ainsi une diminution de l'extensibilité), elle dépend également de l'état musculaire du sujet : présence de contractures,

de courbatures, fatigue musculaire. Enfin, il ne faut pas négliger l'activité de l'étudiant avant la séance ; en général, elle se faisait au retour du restaurant universitaire où ils se rendent à pied en une dizaine de minutes : cette marche peut être considérée comme un échauffement préalable des membres inférieurs.

5.2. À propos du test d'extensibilité choisi:

La reproductibilité intra-testeur du test de l'angle poplité réalisé activement dans les conditions décrites précédemment a été évaluée avec un ICC de 0,90 (0,79 – 0,95). L'erreur de mesure est de l'ordre de $3,16^\circ \pm 1,11^\circ$. Il est alors intéressant de comparer notre fiabilité aux études déjà menées sur le sujet et leurs conditions de réalisation. Gabbe, Bennell, Wajswelner, & Finch [30] réalisent le test en maintenant la hanche homolatérale à 90° de flexion à l'aide d'une barre en bois et utilise un inclinomètre similaire à celui de notre étude : les résultats évoquent un ICC à 0,95 (0,88-0,97) avec une marge d'erreur de 3° . Sullivan & all, cités dans l'étude précédente, utilisent une barre horizontale pour maintenir la hanche et rapportent un ICC à 0,99 avec une erreur de mesure à $1,75^\circ$; l'article n'étant pas disponible, nous ne pouvons apporter plus d'informations sur cette étude. Gajdosik & Lusin [25] fixent le bassin ainsi que la cuisse controlatérale à l'aide d'une sangle et mettent en place un système avec un fil horizontal que le patient doit toucher pour maintenir sa hanche à 90° . Ils évaluent la reproductibilité test-retest avec coefficient de corrélation de Pearson égal à 0,99. En comparant nos résultats aux études précédents, il semble que la fiabilité du test réalisé dans cette étude soit élevée et proche des autres.

Pour des raisons pratiques, le test n'a été réalisé qu'avec un seul opérateur : la mesure a été réalisée à deux reprises et la moyenne des deux a été calculée et retenue. Il serait intéressant de reproduire l'étude avec deux testeurs différents afin de calculer la fiabilité inter-testeur et de la comparer aux études existantes [26, 27].

On peut conclure que pour être reproductible, le test doit éviter au maximum les compensations (rétroversion du bassin et délordose lombaire, flexion de hanche controlatérale) ; pour cela, il faut que le membre inférieur homolatéral soit stabilisé afin de limiter les mouvements de la hanche et que le membre inférieur controlatéral soit également

immobilisé. D'autre part, Herrington [36] démontre qu'il y a une différence de $13,4^{\circ} \pm 9^{\circ}$ entre un test d'angle poplité réalisé passivement avec le bassin en antéversion et le bassin en rétroversion (il faut noter que l'angle est mesuré par rapport à l'horizontale et non la verticale comme dans notre étude) : la position du bassin a donc également une influence sur le résultat du test, elle devra être prise en compte.

Vaillant et Caillat-Mousse [37] affirment qu'aucune méthode de mesure de l'extensibilité n'est infaillible. En effet, les muscles poly-articulaires, ici les ischio-jambiers en particulier, ont des actions dans les trois dimensions de l'espace et possèdent donc trois plans de compensation possible, ce qui est difficilement contrôlable.

L'angle poplité a été réalisé en actif et dépend donc de la sensation subjective de mise en tension du sujet et de sa tolérance. Celles-ci sont variables entre les individus.

De plus, le critère d'arrêt (alternance de contraction et décontraction entraînant un tremblement du membre inférieur) est visuel, il dépend de l'analyse du testeur. Bien qu'ayant fait attention à bien être positionné en face de l'inclinomètre pour la lecture de l'angle et d'avoir appliqué celui-ci sur la jambe du sujet de manière semblable, il existe une légère variation de lecture entre les examinateurs.

À propos de l'outil de mesure choisi, l'inclinomètre de Rippstein est considéré comme un outil plus fiable et reproductible que le goniomètre qui est précis à 5° près [22, 23]. Durant la recherche bibliographique, aucun article définissant une marge d'erreur de cet outil n'a été trouvé ; cependant on peut considérer qu'elle est inférieure à 5° .

5.3. Analyse et interprétation de l'effet avant/après de chaque séance:

En degrés :

L'étude statistique a montré une diminution statistiquement significative de l'angle poplité de l'ordre de $2,3^{\circ}$ après la séance «repos» ($p=0,003$) avec un IC égal à $\pm 1,05^{\circ}$. Cette valeur dépasse la valeur zéro, ce qui signifie qu'il y a une diminution significative de l'angle poplité ; cependant, à aucun moment elle ne traverse la ligne seuil des 4° ce qui signifie que la

séance de repos n'apporte pas d'effet qui en vaille la peine. 95% de la population étudiée a au plus 3,4° de perte d'angle poplité. Cette diminution d'amplitude peut avoir plusieurs explications. Premièrement, cette diminution peut être attribuée à la marge d'erreur de l'outil de mesure inclinomètre de Rippstein ou du test en lui-même. Il peut être dû au fait que le sujet ait été au repos pendant 15 minutes, lui permettant d'avoir une détente corporelle globale. De plus, l'installation du membre inférieur du sujet en relative course moyenne-externe des muscles ischio-jambiers entraîne une légère mise en tension. Enfin, il est possible que le test-retest ait créé un pré-étirement musculaire conservé au test post séance.

D'autre part, l'étude statistique signale une diminution de l'ordre de 5,8° après la séance «électro» ($p=0,0002$) avec un IC de +/- 1,4°. L'effet de la séance d'électrostimulation est clairement cliniquement utile car l'IC_{95%} est totalement à droite du seuil des 4°. 95% de la population a au moins 4,4° et donc est au dessus du seuil clinique. Cette baisse angulaire peut être due au fait que l'application d'une électrostimulation semble provoquer une vasodilatation locale et une augmentation de la température cutanée et sous cutanée ; aussi, elle peut être le fait des contractions musculaires visibles et palpables engendrées par l'électrostimulation et donc d'un certain échauffement musculaire. Ces effets de l'électrostimulation entraînent une diminution de la viscoélasticité musculaire et donc une augmentation de son extensibilité. Une troisième hypothèse peut être évoquée : la diminution du tonus musculaire après électrostimulation assimilable à une phase de relaxation après les contractions musculaires. Enfin, il ne faut pas nier le fait que l'application d'une électrostimulation puisse avoir en partie un effet placebo qui ne peut pas être jugé ici car aucune séance placebo n'a été mise en place dans cette étude. Pour écarter cela, il serait bien de renouveler l'étude en ayant une telle séance.

En pourcentage de gain :

Les comparaisons des gains entre la séance de repos et d'électrostimulation mettent en évidence un gain d'amplitude significativement plus élevé après excito-moteur par rapport au gain obtenu après repos (-18,3% +/- 12,7 versus -7,3% +/- 8,9, $p<0,0001$). Ceci conforte le fait que l'application d'un protocole d'électrostimulation entraînerait une augmentation de

l'extensibilité des muscles ischio-jambiers. Ces résultats sont présents aussi bien dans la population masculine que dans la population féminine.

5.4. Analyse et interprétation de l'effet avant/après des séances en fonction du sexe :

Il n'y a pas de différence significative des gains obtenus entre les femmes et les hommes après la séance de repos.

Il y a une différence significative des gains obtenus entre les femmes et les hommes après la séance d'électrostimulation : il y a une plus grande amélioration de l'extensibilité chez les femmes que chez les hommes. Maffiuletti & all [38] étudient l'influence du sexe et de l'obésité sur le seuil et la tolérance d'une stimulation électrique. Les personnes obèses ont une excitabilité plus faible par rapport aux non-obèses. Les femmes montrent un seuil sensitif plus élevé mais un seuil moteur plus faible. Le seuil moteur est directement corrélé à l'épaisseur du tissu adipeux sous cutané et l'IMC. Dans ce travail de recherche, les femmes ont un indice de masse corporelle moyen inférieur à celui des hommes (IMC = 20,9 kg/m² versus 21,9 kg/m²), il faudrait voir si cette différence d'IMC est significative, il s'agit d'une piste pouvant expliquer que l'effet de la séance d'électrostimulation soit plus important chez les femmes que chez les hommes. De plus, la présence d'une pilosité plus importante chez les hommes peut expliquer la moindre efficacité du courant électrique chez eux.

5.5. Analyse du ressenti du sujet :

34,5 % des sujets n'ont ressenti aucune différence.

51,7 % des sujets se sont sentis plus souples, détendus, relâchés ou ont ressenti une diminution de la sensation d'étirement lors du post-test. Ceci va dans le sens des mesures objectives post-séance, détente, amélioration de l'extensibilité musculaire. Cependant, il ne faut pas oublier l'effet placebo.

58,6 % des sujets se sont sentis plus légers après la séance d'électrostimulation. Cela peut s'expliquer par deux éléments : la position en déclive qui favorise le retour veineux dans

un premier temps, mais aussi par l'alternance de contraction-décontraction musculaire imprimée par le protocole d'électrostimulation par secousses élémentaires exerçant un pompage veineux par effet Visalatre.

17,2 % des sujets ont eut des fourmis dans le pied après la séance repos ou excitomoteur. Ceci est dû à l'installation du sujet pendant les 15 minutes de la séance. En effet, la position de la hanche et surtout du genou fléchis ainsi que la mise en place de la sangle au niveau de la face postérieure de la cuisse ont tendance à favoriser la compression du nerf sciatique ou de l'artère poplitée au niveau du creux poplité du sujet, ce qui se traduit par des sensations de fourmillements au niveau distal du membre inférieur au retrait de l'installation.

5.6. À propos du protocole d'électrostimulation choisi :

La largeur d'impulsion a été choisie en fonction des paramètres des études qui ont montré une augmentation du débit sanguin local et de la température cutanée et sous cutanée. Cependant, les ischio-jambiers sont composés d'une majorité de fibres de type I donc à chronaxie lente et devraient être stimulés à une largeur de stimulation supérieure à 200 μ s.

L'intensité de stimulation a été choisie par le sujet lui-même et n'est donc pas la même pour tous. Or, il est admis qu'une intensité de stimulation plus élevée recrute de nouvelles régions musculaires plus éloignées du lieu de stimulation. Il serait intéressant de voir la variation du gain en fonction de l'intensité de stimulation.

De plus, l'efficacité est également liée au positionnement de l'électrode, de l'épaisseur de tissu sous-cutané, de la pilosité. La taille du segment fémoral a été prise en compte dans la mise en place des électrodes pour être au maximum sur les corps musculaires des ischio-jambiers. Cependant, il faut noter qu'il existe une grande variabilité anatomique inter individuelle.

Par ailleurs, il ne faut pas oublier le phénomène d'accoutumance. Il a été demandé au sujet de nous indiquer si la sensation de battement diminuait au cours de la séance. Dans ce cas, l'intensité a été augmentée à nouveau jusqu'à perception des battements maximum

supportables. Cependant, aucune variation de fréquence ou de durée de stimulation n'a été faite pendant les 15 minutes du protocole.

Enfin, on peut se poser la question de la durée de stimulation : considérons qu'en 15 minutes l'angle poplité a diminué de $5,8^\circ$, aurait-on eu plus d'effet sur l'angle poplité (et donc sur l'extensibilité des ischio-jambiers) si le protocole avait duré plus longtemps ? Une durée inférieure aurait-elle donné des résultats similaires ?

6. CONCLUSION :

A la suite de cette étude, il semble qu'il existe un probable effet positif d'un protocole d'électrostimulation de très basse fréquence sur l'extensibilité des muscles ischio-jambiers. Pour confirmer les résultats obtenus, il serait intéressant de reconduire cette étude sur une population avec un effectif plus important. La reproductibilité du test d'extensibilité choisi est ici très élevée, mais seule la tension initiale est évaluée en actif. Il serait judicieux de réaliser ce test en passif pour estimer la tension maximal du muscle. De plus, il faudrait la reproduire avec deux examinateurs afin d'évaluer la fiabilité inter testeur de ces conditions de test.

Les applications kinésithérapiques, si les résultats se confirment, pourront être les suivants : par exemple, après immobilisation du coude, la stimulation électrique du biceps brachial permet d'entretenir sa trophicité et de prévenir sa rétraction souvent problématique dans les suites de traumatologie du membre supérieur. Aussi, une utilisation dans le cadre d'une atteinte neurologique périphérique peut être bénéfique : la stimulation des muscles sains (antagonistes au muscles lésés) qui sont forts et ont tendance à être rétractés et contracturés pourra être envisagée. Enfin, la stimulation de très basse fréquence pourra être utilisée seule ou en association avec un étirement si celui-ci est difficile ou douloureux dans la récupération musculaire post-effort.

D'autre part, il pourrait être intéressant d'étudier l'effet de ce protocole d'électrostimulation en l'associant à un étirement sur une séance ou encore sur plusieurs semaines de traitement comme l'ont fait Maciel & Camara [5] pour le TENS.

BIBLIOGRAPHIE:

- [1] OWENS S., ATKINSON E. R., LEES D. E. - Thermographic evidence of reduced sympathetic tone with transcutaneous nerve stimulation. *Anesthesiology*, 1979, 50, p. 62-65
- [2] ABRAM S. E., ASSIDAO C. B., REYNOLDS A. C. - Increased skin temperature during transcutaneous electrical stimulation. *Anesthesia and Analgesia*, 1980, 59, n°1, p. 22-25
- [3] INDERGAND H. J., MORGAN B. J. - Effects of high-frequency transcutaneous electrical nerve stimulation on limb blood flow in healthy humans. *Physical Therapy Journal*, 1994, n°74, p. 361-367
- [4] WONG R. A., JETTE D. U. - Changes in sympathetic tone associated with different forms of transcutaneous electrical nerve stimulation in healthy subjects. *Physical Therapy Journal*, 1984, 64, p. 478-482
- [5] MACIEL A. C. C., CAMARA S. M. A. - Influence of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) associated with muscle stretching on flexibility gains. *Revista Brasileira de Fisioterapia*, 2008, 12, 5, p. 373-378
- [6] CRAMP A. F. L., GILSENAN C. LOWE A. S., WALSH D. M. - The effect of high- and low-frequency transcutaneous electrical nerve stimulation upon cutaneous blood flow and skin temperature in healthy subjects. *Clinical physiology*, 2000, 20, 2, p. 150-157
- [7] CRAMP A. F. L., McCULLOUGH G. R., LOWE A. S., WALSH C. M. - Transcutaneous electrical stimulation: the effect of intensity on local and distal cutaneous blood flow and skin temperature in healthy subjects. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 2002, 83, 1, p. 5-9
- [8] SHERRY J. E., OEHRLEIN K. M., HEGGE K. C., MORGAN B. F. - Effect of burst-mode transcutaneous electrical nerve stimulation on peripheral vascular resistance. *Physical Therapy Journal*, 2001, n° 81, p. 1183-1191
- [9] SANDBERG M. L., SANDBERG M. K., DAHL J. - Blood flow changes in the trapezius muscle and overlying skin following transcutaneous electrical nerve stimulation. *Physical Therap*, 2007, 87, 8, p. 1047-1055
- [10] SCUDDS R. J., SCUDDS A. H., SCUDDS R. A. - The effect of transcutaneous electrical nerve stimulation on skin temperature on skin temperature in asymptomatic subjects. *Physical Therapy Journal*, 1995, n°75, p. 621-628

- [11] **GOUBEL F., LENSEL-CORBEIL G.** Biomécanique : éléments de mécanique musculaire. 1^e éd. Paris : Masson, 1998. 150 p. ISBN : 2-225-83020-7
- [12] **DUFOUR M.** Anatomie de l'appareil locomoteur, membre inférieur. 2e édition. Paris : Masson, 2009, p. 244-257. ISBN : 978-2-294-08055-5
- [13] **NETTER F. H.** Atlas d'anatomie humaine. 4e édition. Paris : Masson, 2009, planche 495, ISBN : 978-2-294-09473-6
- [14] **WOODLEY S. J., MERCER S. R.** - Hamstring muscles : architecture and innervation. Cells Tissues Organs, 2005, 179, p. 125-141
- [15] **MORINEAUX B.** Les muscles ischio-jambiers : études anatomique, biomécanique et fonctionnelle. 1983. 106 p. Thèse Med. : Nancy
- [16] **CREPON F.** Electrothérapie et physiothérapie : applications en rééducation et réadaptation. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson, 2012. 280 p. ISBN 978-2-294-70956-2
- [17] **CREPON F., DOUBRERE J. F., VANDERTHOMMEN M. CASTEL-KREMER E. CADET G.** Electrothérapie. Electrostimulation. EMC (Elsevier Masson SAS, Paris), Kinésithérapie-Médecine Physique-Réadaptation. 26-145-A-10, 2007
- [18] **CREPON F.** - Electrostimulation musculaire : aspects métaboliques de la contraction. Kiné Scientifique, mai 2002, n° 422, p. 55-56
- [19] **VANDERTHOMMEN M., DEPRESSEUX J. C., DAUCHAT L., DEGUELDRE C., CROISIER J. L., CRIELAARD J.M.** - Spatial distribution of blood flow in electrical stimulated human muscle : a positron emission tomography study. Muscle Nerve John Wiley & Sons, 2000, 23, p. 482-489
- [20] **CANADIAN PHYSIOTHERAPY ASSOCIATION.** Electrical Stimulation in Electrophysical Agents : Contraindications and Precaution: An Evidence-Based Approach to Clinical Decision Making in Physical Therapy. 2010, 62, 5, p. 26-38. ISSN-0300-0508 E-ISSN-1708-8313
- [21] **CREPON F.** - Electrophysiothérapie : indications. Kiné Scientifique, octobre 2004, n° 448, p. 89-91

- [22] ROYER, A., CECCONELLO, R. Bilans articulaires cliniques et goniométriques. Généralités. EMC (Elsevier Masson SAS, Paris), Kinésithérapie-Médecine Physique-Réadaptation. 26-008-A-10, 2004.
- [23] POICHOTTE E. - Inclinomètre et standardisation des mesures d'amplitude articulaire. Kiné Scientifique. Novembre 2005, n°460, p. 38-43
- [24] CAMERON D. M., BOHANNON R. W. - Relationship between active knee extension and active straight leg raise test measurements. Journal of Orthopedic Sports Physical Therapy, 1993, 17, 5, p. 257-260
- [25] GAJDOSIK R., LUSIN G. - Hamstring muscle tightness : Reliability of an Active-Knee-Extension-Test. Physical Therapy Journal, 1983, n°63, p. 1085-1088
- [26] NORRIS C. M., MATTHEWS M. - Inter-tester reliability of a self-monitored active knee extension test. Journal of Bodywork and Movement Therapie, 2005, n°9, p. 256-259
- [27] RAKOS D. M., SHAW K. A., FEDOR R. L., LAMANNA M., YOCUM C. C., LAWRENCE K. J. - Interrater reliability of the active-knee-extension test for hamstring length in school-aged children. Pediatric Physical Therapy, 2001, 13, 1, p. 37-41
- [28] GAJDOSIK R., RIECK M. A., SULLIVAN D. K., WIGHTMAN S. E. - Comparison of four clinical tests for assessing hamstring muscle length. Journal of Orthopedic & Sports Physical Therapy, 1993, 18, 5, p. 614-618
- [29] CHATRENET Y. Evaluations clinique et fonctionnelle du genou. EMC (Elsevier Masson SAS, Paris) - Kinésithérapie-Médecine Physique-Réadaptation. 2013 ; 9 (1) :1-17 [Article 26-008-E-20]
- [30] GABBE B., BENNELL K. L., WAJSWELNER H., FINCH C. F. - Reliability of common lower extremity musculoskeletal screening tests. Physical therapy in sport, 2004, n°5, p. 90-97
- [31] BELLINI G. - Recherche statistique de la norme de l'angle poplité. 1997. 18 p. Mémoire en vue de l'obtention du diplôme d'état de masseur kinésithérapeute : Nancy
- [32] GAJDOSIK R., LEVEAU B. F., BOHANNON R. W. - Effect of ankle dorsiflexion on active and passive unilateral Straight Leg Raising. Physical therapy Journal, 1985, 65, 1478-1482

[33] BOTTER A., OPRANDI G., LANFRANCO. - Atlas of the muscle motor points for the lower limb : implications for electrical stimulation procedures and electrode positioning. *European Journal of Applied Physiology*, 2011, 111, 10, p. 2461-2471

[34] CORKERY M., BRISCOE H., CICCONE N., FOGLIA G., JOHNSON P., KINSMAN S., LEGERE L., LUM B., CANAVAN P. K. - Establishing normal values for lower extremity muscle length in college-age students. *Physical Therapy in Sport*, 2007, n°8, p. 66-74

[35] YODAS J. W., KRAUSE D. A., HOLLMAN J. H., HAMSEN W. S., LASKOWSKI E. - The influence of gender and age on hamstring muscle in healthy adults. *Journal of Orthopedic and Sports Physical Therapy*, 2005, 35, 4, p. 246-252

[36] HERRINGTON L. - The effect of pelvic position on popliteal angle achieved during 90:90 hamstring-length test. *Journal of Sport Rehabilitation*, 2013, 22, 4, p. 254-256

[37] VAILLANT J., CAILLAT., MIOUSSE J. L. Tests d'extensibilité musculaire des membres inférieurs : exemple des difficultés méthodologiques pour les muscles de la cuisse. In : *Journées de médecine orthopédique et de rééducation 2000*. Paris : Expansion scientifique française, 2000. p. 142-148

[38] MAFFIULETTI N. F., MORELLI A., MARTIN A., DUCLAY J., BILLOT M., JUBRAU M., AGOSTI F., SARTORIO A. - Effect of gender and obesity on electrical current thresholds. *Muscle Nerve*, 2011, 44, 2, p. 202-207

Source internet :

[39] <http://theringwoodclinic.blogspot.fr/p/10-self-test.html> (page consultée le 05/03/13)

ANNEXES :

ANNEXE I :

Les muscles ischio-jambiers

ANNEXE II :

Matériel

ANNEXE III :

Fiche d'information et de consentement, questionnaire

ANNEXE IV :

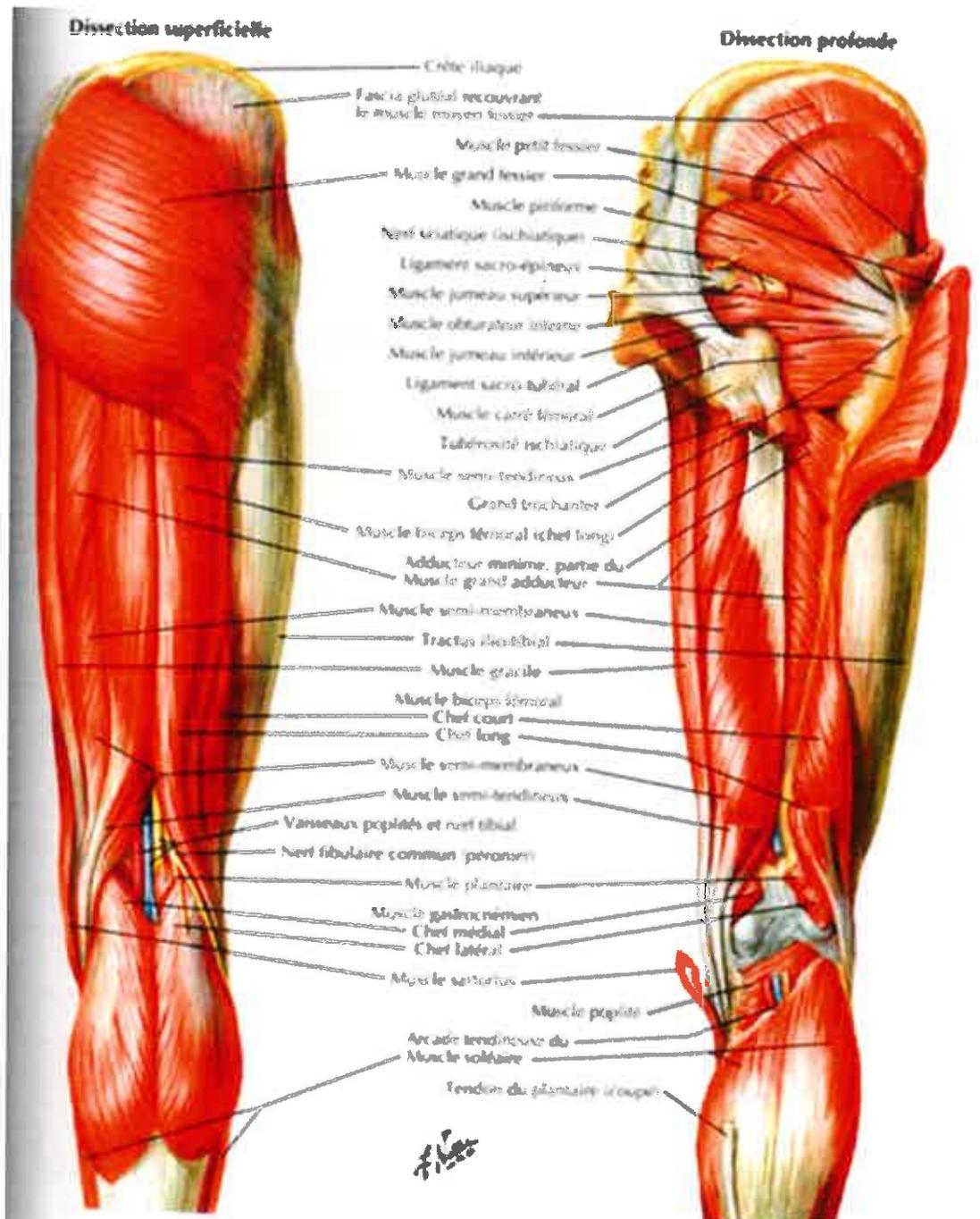
Modélisation du courant de très basse fréquence et de haute intensité utilisé

ANNEXE V :

Principaux résultats

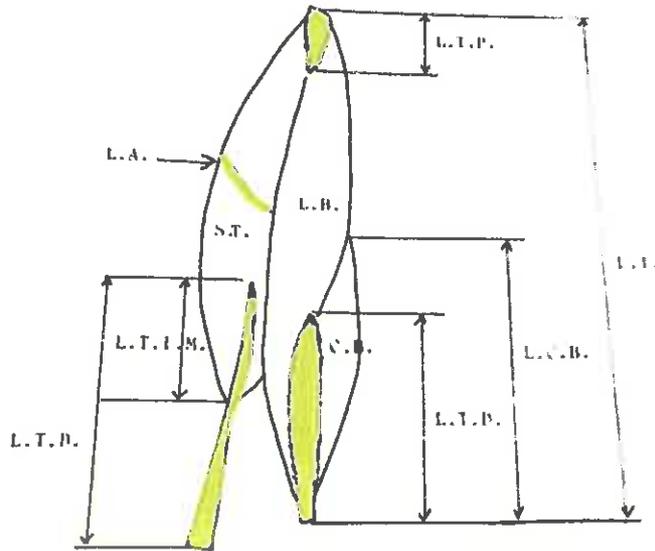
ANNEXE I : Les muscles ischio-jambiers

Planche 495 du Netter, vues postérieures des muscles de la hanche et de la cuisse



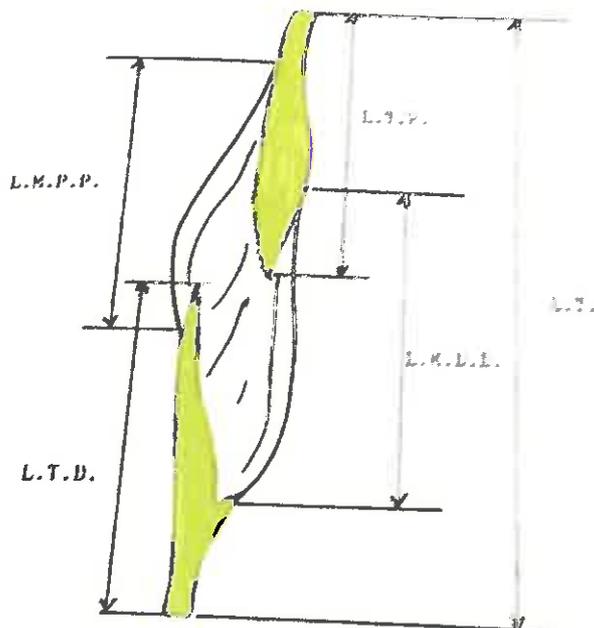
Schémas issus de : **MORINEAUX B.** Les muscles ischio-jambiers : études anatomique, biomécanique et fonctionnelle. 1983. 106 p. Thèse Med. : Nancy

Biceps fémoral et Semi Tendineux :



- L. B : Long Biceps
- C. B. : Court Biceps
- S. T. : Semi Tendineux
- L.T.P. : Longueur du tendon proximal
- L.A. : Lamé aponévrotique
- L.T.I.M. : Longueur du tendon intra-musculaire
- L.T.D. : Longueur du tendon distal
- L.C.B. : Longueur du Court Biceps
- L.T : Longueur totale du Biceps

Semi Membraneux :



- L.M.P.P. : Longueur musculaire proximo-proximal
- L.M.D.D. : Longueur musculaire disto-distale
- L.T.P. : Longueur tendineuse proximale
- L.T.P. : Longueur du tendon proximal
- L.T.D. : Longueur tendineuse distale
- L.T : Longueur totale du Semi Membraneux

ANNEXE II : Matériel



Figure 1 : mètre ruban



Figure 2 : crayon dermographique



Figure 3 : inclinomètre



Figure 4 : niveau à bulle



Figure 5 et 6 : grands et petits coussins triangulaires



Figure 7 : élingues



Figure 8 : sangle



Figure 8 : électrodes 9x5cm



Figure 9 : appareil d'électrothérapie
Cefar Rehab X2



Figure 10 : cage de pouliothérapie et table électrique

ANNEXE III : Fiche d'information et de consentement,
questionnaire

INFORMATION :

Vous allez participer à un mémoire de recherche réalisé en vue de l'obtention du diplôme d'état de Masseur-Kinésithérapeute. Celui-ci consiste à déterminer si l'application d'un courant excito-moteur a un effet sur l'extensibilité musculaire. Les muscles choisis pour cette étude sont les ischio-jambiers.

L'étude se déroulera sur deux séances, séparées entre elles d'une durée de 24 heures. Chaque séance sera précédée et finalisée d'un test d'extensibilité des ischio-jambiers consistant en la mesure de l'angle poplité. Une de ces séances consistera en une période de repos de 15 minutes, l'autre en l'application d'un protocole d'électrothérapie. L'ordre de ces deux séances sera tiré au sort.

La signature de ce document acquiesce de votre consentement à la participation de cette étude dans les conditions citées ci-suit :

- que vous avez été informé sur les modalités de réalisation et le but de cette étude et avez compris ces informations,
- vous êtes libre de participer et de stopper votre participation à cette étude à tout moment sans avoir à fournir de raisons et sans que cela vous porte préjudice ; la participation à cette étude est gratuite et non rémunérée,
- les données recueillies vous concernant resteront strictement confidentielles, vous autorisez que ces données soient traitées par informatique et consultées par les investigateurs de l'étude,
- l'ensemble des mesures prises sont sans danger,
- votre consentement ne décharge pas les investigateurs de cette étude de leur responsabilité, vous conservez tous vos droits garantis par la loi.

Je soussigné(e), M, Mmeavoir pris connaissance des informations ci-dessus.

Je donne mon accord pour participer à cette étude.

Fait à, le

Signature du volontaire précédée de la mention lu et approuvé :

QUESTIONNAIRE :

NOM : Prénom :
Age : Sexe : M / F
Taille : Poids :

1) **PATHOLOGIE/ANTECEDENTS PATHOLOGIE/DOULEUR MEMBRE INFERIEUR :**

- Laquelle/Lesquelles ?

2) **PATHOLOGIE/ANTECEDENTS PATHOLOGIE/DOULEUR LOMBAIRE :**

- Laquelle/Lesquelles?

3) **SPORT :**

- Pratiquez-vous une activité sportive ? OUI - NON

- Si oui laquelle ?

- Depuis combien de temps ?

- Fréquence : ...h/jour ...h/semaine

4) **ETIREMENT :**

- Pratiquez-vous des étirements ? OUI - NON

- Si oui, sur quels muscles ?

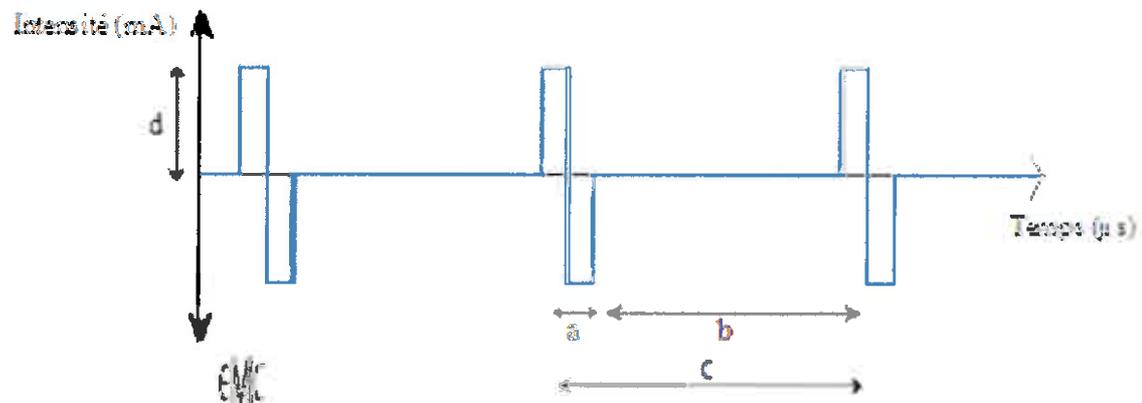
- Durée :

- Fréquence :

	Test de départ	Test de fin
Repos		
Excito-moteur		

ANNEXE IV : Modélisation du courant de très basse fréquence et de haute intensité utilisé

Schéma issu de : CREPON F., DOUBRERE J. F., VANDERTHOMMEN M. CASTEL-KREMER E. CADET G. Electrothérapie. Electrostimulation. EMC (Elsevier Masson SAS, Paris), Kinésithérapie-Médecine Physique-Réadaptation. 26-145-A-10, 2007.



- a : durée d'impulsion (200 µs),
- b : espacement entre 2 impulsions,
- c : période d'impulsion permettant de déterminer la fréquence d'impulsion (4 Hertz),
- d : intensité (variable selon l'individu, réglée au troisième seuil, mA).

ANNEXE V : Principaux résultats

Sujet	Sexe		Age	Taille (m)	Poids (kg)	IMC (kg/m ²)	T1 Repos (°)	T2 Repos (°)	T2-T1 Repos (°)	% gain repos	T1 Electro (°)	T2 Electro (°)	T2-T1 Electro (°)	% gain Electro	Intensité Electro (mA)
	H	F													
1	0	1	21	1,66	57	20,7	38	40	2	5,3	40	30	-10	-25,0	48
2	0	1	21	1,69	69	24,2	10	10	0	0,0	15	10	-5	-33,3	43
3	1	0	20	1,74	60	19,8	30	26	-4	-13,3	30	24	-6	-20,0	75
4	1	0	23	1,82	78	23,5	30	28	-2	-6,7	34	30	-4	-11,8	48
5	0	1	22	1,69	55	19,3	25	20	-5	-20,0	30	25	-5	-16,7	57
6	1	0	21	1,8	73	22,5	25	25	0	0,0	25	15	-10	-40,0	45
7	0	1	22	1,63	55	20,7	22	20	-2	-9,1	25	15	-10	-40,0	37
8	1	0	23	1,88	76	21,5	55	50	-5	-9,1	45	36	-9	-20,0	32
9	1	0	21	1,65	62	22,8	44	40	-4	-9,1	35	26	-9	-25,7	75
10	1	0	23	1,72	64	21,6	40	32	-8	-20,0	35	28	-7	-20,0	53
11	0	1	21	1,56	52	21,4	26	22	-4	-15,4	24	16	-8	-33,3	51
12	0	1	22	1,65	46	16,9	26	24	-2	-7,7	30	20	-10	-33,3	30
13	0	1	21	1,7	65	22,5	32	30	-2	-6,3	30	28	-2	-6,7	54
14	0	1	20	1,75	60	19,6	32	30	-2	-6,3	34	30	-4	-11,8	38
15	1	0	21	1,75	72	23,5	28	24	-4	-14,3	22	18	-4	-18,2	54
16	0	1	21	1,63	52	19,6	30	30	0	0,0	36	28	-8	-22,2	45
17	1	0	18	1,75	60	19,6	36	34	-2	-5,6	36	32	-4	-11,1	60
18	1	0	20	1,9	67	18,6	42	40	-2	-4,8	40	36	-4	-10,0	53
19	0	1	21	1,67	62	22,2	34	24	-10	-29,4	38	26	-12	-31,6	70
20	1	0	23	1,79	71	22,2	40	38	-2	-5,0	38	30	-8	-21,1	64
21	0	1	23	1,76	69	22,3	14	12	-2	-14,3	12	10	-2	-16,7	51
22	1	0	22	1,69	65	22,8	22	24	2	9,1	18	20	2	11,1	83
23	1	0	22	1,87	78	22,3	40	35	-5	-12,5	38	28	-10	-26,3	51
24	0	1	25	1,74	64	21,1	22	18	-4	-18,2	18	16	-2	-11,1	70
25	0	1	20	1,71	63	21,5	36	34	-2	-5,6	42	32	-10	-23,8	65
26	1	0	19	1,82	78	23,5	38	38	0	0,0	34	32	-2	-5,9	45
27	1	0	19	1,87	68	19,4	48	46	-2	-4,2	50	46	-4	-8,0	88
28	1	0	22	1,78	66	20,8	40	40	0	0,0	34	30	-4	-11,8	46
29	1	0	22	1,78	82	25,9	38	42	4	10,5	32	36	4	12,5	44
TOTAL	16	13													
MOYENNE			21,3	1,74	65,1	21,5	32,5	30,2	-2,3	-7,3	31,7	26,0	-5,8	-18,3	54,3
ECART-TYPE			1,5	0,08	8,8	1,9	9,9	9,8	2,9	8,9	9,0	8,4	3,9	12,7	14,5
MEDIANE			21,0	1,74	65,0	21,5	32,0	30,0	-2,0	-6,3	34,0	28,0	-5,0	-20,0	51,0
Q1			21,0	1,69	60,0	19,8	26,0	24,0	-4,0	-13,3	25,0	20,0	-9,0	-25,7	45,0
Q3			22,0	1,79	71,0	22,5	40,0	38,0	0,0	0,0	38,0	30,0	-4,0	-11,1	64,0
MINI			18,0	1,56	46,0	16,9	10,0	10,0	-10,0	-29,4	12,0	10,0	-12,0	-40,0	30,0
MAXI			25,0	1,90	82,0	25,9	55,0	50,0	4,0	10,5	50,0	46,0	4,0	12,5	88,0
IC									1,05				1,41		
Valeur inf									-3,36				-7,17		
Valeur sup									-1,26				-4,35		