

Rapport d'étude Sport-elec

PROTOCOLE D'ETUDE EFFECTUE SUR LE PRODUIT SUDOLORIS

Héloïse BAILLET
UNIVERSITE DE ROUEN | ENTREPRISE SPORT-ELEC

Dirigé par

David LEROY



Maître de Conférences en
STAPS

Vice-Président de l'Université
de Rouen Normandie

Sommaire

I. Introduction	2
1. La douleur	2
2. Mécanisme de la douleur	2
3. Le TENS	4
a. Les mécanismes d'action	4
b. Etudes liées aux TENS	5
4. Les DOMS	7
5. DOMS et TENS : les effets	8
II. Problématique	9
III. Protocole	10
1. La population	10
2. Matériels et méthodes	11
a. Le WOMAC	11
b. L'Echelle Numérique	11
3. Mise en place du protocole	12
IV. Résultats	14
1. Analyses statistiques	14
a. Le WOMAC	14
b. Les Echelles Numériques	17
2. Interprétation des résultats	22
V. Discussion	24
VI. Conclusion	27
VII. Liste des figures et tableaux	28
VIII. Bibliographie	29
IX. Annexes	35

I. Introduction

1. La douleur

Véritable enjeu de santé publique, la douleur motive près de deux tiers des consultations médicales. Domaine de recherche très actif, la douleur fait aujourd'hui l'objet de nombreuses études, aussi bien fondamentales que cliniques. Ces travaux sont indispensables pour comprendre plus précisément les mécanismes mis en jeu et permettre ainsi l'élaboration de nouveaux traitements. La douleur ne doit plus être vécue comme une fatalité (Breton, 2006).

La douleur est définie par l'Association Internationale pour l'Etude de la Douleur (IASP) comme :

« Une expérience sensorielle et émotionnelle désagréable, associée à un dommage tissulaire présent ou potentiel, ou décrite en termes d'un tel dommage ».

Elle est donc subjective et repose avant tout sur le ressenti du patient, ce qui la rend difficile à quantifier et à qualifier. D'autant plus que la douleur n'est pas liée systématiquement à une lésion, une caractéristique qui rend son étude complexe (Breton, 2006).

2. Mécanisme de la douleur

A partir du site d'une lésion, naît un message nerveux, dit nociceptif, qui est véhiculé le long des nerfs périphériques jusqu'au cerveau où il devient réellement douleur. Il est modulé tout au long de son cheminement par différents systèmes qui peuvent en augmenter ou en diminuer l'intensité (Le Bars & Willer, 2004).

Un traumatisme localisé, comme par exemple une brûlure à la main, provoque l'excitation de récepteurs particuliers. Ces terminaisons nerveuses susceptibles de signaler la douleur se trouvent dans tous les tissus : la peau, mais aussi les viscères et les muscles. Le message est alors transmis par des fibres nerveuses jusqu'à la moelle épinière. Il existe plusieurs systèmes de transmission périphérique. Des fibres de différents diamètres sont capables de transmettre plusieurs types de messages à des vitesses différentes (Duquette, Roy, Leporé, Peretz, & Rainville, 2007) :

- les fibres les plus grosses, qui conduisent l'information rapidement, informent de la présence d'une douleur localisée
- les fibres plus fines, qui conduisent plus lentement, vont être à l'origine d'une sensation de douleur plus diffuse

De la moelle épinière, le message arrive ensuite au cerveau où il devient réellement douleur, c'est-à-dire une sensation localisée dans le corps et désagréable. Différentes réactions motrices vont accompagner la transmission du message douloureux : par exemple, retirer sa main de la source de chaleur.

Au niveau du cerveau, le message douloureux va ensuite atteindre différentes structures du cerveau. Il remonte par différentes voies vers le thalamus et le cortex. De nombreuses structures cérébrales participent au décodage de la douleur. C'est au niveau de ces structures supérieures que s'élabore la perception qui permet de décoder la localisation et la nature de la douleur : brûlure, piqûre, crampe. Certaines zones sont plus impliquées dans la mise en mémoire de la perception en établissant une comparaison avec les expériences passées (processus d'apprentissage). D'autres zones semblent plus impliquées dans les aspects émotionnels de la douleur et organisent les comportements pour faire face à la douleur (Le Bars & Willer, 2004 ; Breton, 2006 ; Duquette et al., 2007).

Pour permettre de soulager la douleur, plusieurs procédés existent :

- Les médicaments :
 - o le paracétamol, l'aspirine ou encore la morphine et ses dérivés : pour les douleurs inflammatoires
 - o les antidépresseurs ou les antiépileptiques : pour les douleurs neuropathiques
- Les traitements non médicamenteux : comme par exemple l'acupuncture, la relaxation, la sophrologie, le placebo, ou encore l'hypnose. On retrouve dans ces traitements : **l'électrostimulation cutanée = les TENS**

La neurostimulation électrique transcutanée, plus communément appelées TENS (Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation), est une technique antalgique non médicamenteuse qui utilise les propriétés d'un courant électrique transmis au travers d'électrodes placées sur la peau.

On a trouvé des tablettes de pierre datant de l'Antiquité égyptienne (2 500 ans avant notre ère) sur lesquelles était gravée la description d'une technique consistant à utiliser un poisson électrique pour soulager la douleur. À l'époque de Socrate, on traitait de la sorte les douleurs arthritiques et le mal de tête. Ce n'est cependant qu'en 1965 que Ronald Melzack (psychologue) et Patrick Wall (physiologiste) systématisaient la technique et lui donnaient le nom de « neurostimulation électrique transcutanée » (Melzack & Wall, 1984 ; Santoro, Bellinghieri, & Savica, 2011). Aujourd'hui, cette technique est communément utilisée dans les hôpitaux et les cliniques pour soulager différents types de douleur, généralement en association avec d'autres approches, médicamenteuses ou physiques.

3. Le TENS

a. Les mécanismes d'action

On n'a pas encore complètement élucidé les mécanismes par lesquels le courant électrique peut soulager la douleur. Il existe présentement deux hypothèses principales pour expliquer cette action analgésique : la théorie du portillon et la stimulation de la production endogène d'analgésiques naturels.

La théorie du portillon, ou théorie du « Gate-control » (passage contrôlé de la douleur) (voir *annexe 1*), fut d'abord formulée par les créateurs de la neurostimulation transcutanée, Melzack et Wall (Melzack & Wall, 1984). Selon cette hypothèse, le courant électrique envoyé aux nerfs contribuerait à bloquer le passage de l'information douloureuse vers le cerveau. Le portillon serait ainsi fermé entre les nerfs et la moelle épinière, voie normale de transmission des messages nociceptifs vers le thalamus et le cortex cérébral. Cette modalité d'antalgie est réalisée par le TENS conventionnel et utilise un courant de fréquence élevée (>50HZ) et de faible intensité. Celle-ci est déterminée par le seuil de sensibilité tactile que le patient perçoit sous forme d'un fourmillement confortable. L'effet antalgique du TENS conventionnel est localisé, d'installation rapide, et de courte durée, inférieure à une heure de stimulation (Moayedi & Davis, 2013).

Les analgésiques endogènes sont des substances antidouleur que l'organisme produit naturellement en fonction de ses besoins. Il s'agit des endorphines, des enképhalines et des dynorphines, substances apparentées à la morphine. Leur production serait stimulée par le

passage du courant électrique dans les nerfs. Cette modalité d'analgésie par libération d'endorphines ou TENS-acupuncture associe une fréquence faible (< 4HZ) et une intensité élevée, que le patient perçoit sous la forme d'une sensation de « battements musculaires », à la limite de la tolérance (Sun, Hu, Hao, Niu, & Li, 2013).

Il est aussi possible que les effets analgésiques de la neurostimulation transcutanée soient le résultat de ces deux mécanismes.

b. Etudes liées aux TENS

De nombreuses études ont montré des avantages concernant la réduction des douleurs musculaires, tissulaires, chroniques... pour de nombreuses pathologies.

D'après ces études, on peut voir que les TENS permettent des améliorations chez les patients atteints d'ostéo-arthrite du genou (Burch, Tarro, Greenberg, & Carroll, 2008 ; Atamaz et al., 2012), de douleurs ischémiques (Johnson & Tabasam, 2003), de douleurs liées au cancer (Loh & Gulati, 2013) et de douleurs post-opératoire (Bjordal, Johnson, & Ljunggreen, 2003). D'après Bjordal et al (2003), le TENS permettrait de réduire la consommation des analgésiques après opération. En effet, la douleur est diminuée grâce au TENS et le traitement analgésique peut donc être réduit.

De plus, le TENS a des effets positifs chez les personnes hémiplegiques (Ekim, Armağan, & Oner, 2008), atteints de neuropathie et de douleurs inflammatoires (Vera-Portocarrero et al., 2013), dans la réparation tissulaire (Perez Machado, Santana, Tacani, & Liebano, 2012), ainsi que chez les sujets diabétique (Ding et al., 2013).

Le TENS est aussi beaucoup utilisé chez des patients lombalgiques et de nombreuses études présentent les effets positifs de ce courant sur cette pathologie (Deyo, Walsh, Martin, Schoenfeld, & Ramamurthy, 1990 ; Beurskens, de Vet, & Köke, 1996 ; Keskin et al., 2012 ; Pallett, Rentowl, & Watson, 2013).

Les études nous montrent également que l'efficacité d'un TENS dépend de son application sur la peau. Des zones, des endroits précis sont donc appropriés pour soulager les douleurs (Jones & Johnson, 2009).

Concernant les patients ayant subi un accident vasculaire cérébral (AVC), les TENS présentent des effets sur la force, la proprioception, l'équilibre et la mobilité. Ils permettent aussi une aide indéniable lors d'une perte sensorielle sévère après un AVC (Tyson, 2013 ; Kita et al., 2013).

Geng, Yoshida, Petrini, & Jensen (2012), nous parle d'un sujet impressionnant. Ils ont réalisé une étude pour voir l'effet du TENS chez des personnes présentant une amputation de la main. On peut voir que ces TENS, en les appliquant sur la peau au niveau de l'avant-bras, permettent d'aider dans les mouvements de la main prothétique grâce aux différents courants de stimulations sur l'avant-bras.

Toutes ces études montrent les effets positifs du TENS dans différentes pathologies. En revanche, d'autres études ont été réalisées et exposent des effets moins convaincants de ces stimulations nerveuses électriques.

En effet, une étude sur des patients atteints de douleurs chroniques montre que l'effet placebo du TENS prend une place très importante (Oosterhof, Wilder-Smith, de Boo, Oostendorp, & Crul, 2012). Ces patients étaient répartis en 2 groupes : 1 qui recevait un traitement à base de TENS et 1 recevant un traitement à base de faux TENS. Les résultats montraient que les deux groupes avaient les mêmes sensations après traitement. Les TENS jouent donc certainement un effet placebo assez important dans la réduction des douleurs.

Laufer, Tausher, Esh, & Ward (2011), étudient l'efficacité du TENS dans la réduction des douleurs musculaires en collaboration avec une stimulation électrique neuromusculaire. On peut ainsi voir que cette étude ne donne pas de résultats convaincants car l'inconfort musculaire n'est en aucun cas réduit grâce aux TENS.

Toutes ces études nous renseignent sur les effets, à la fois très positifs mais aussi sans impacts réels, du TENS pour des pathologies précises.

De plus, nous avons également trouvé des études qui donnent des résultats négatifs concernant le TENS. En effet, Vanderthommen et al (2012), présentent des altérations musculaires de la flexion et de l'extension du genou après des stimulations électriques d'une durée de 20 minutes réalisées sur les muscles quadriceps et ischio-jambiers grâce à un stimulateur électrique portable d'une fréquence de 80 Hz, associé à 100 contractions isométriques des muscles quadriceps et 100 contractions isométriques des muscles ischio-jambiers.

Pour notre étude, le but est d'étudier ces stimulations sur les douleurs tissulaires et plus précisément les douleurs liées aux courbatures, que l'on appelle les DOMS, après une séance d'activités sportives.

4. Les DOMS

Les courbatures sont des douleurs musculaires qui surviennent à la suite de la pratique d'exercices physiques inhabituels ou d'activités comportant des contractions musculaires excentriques intenses. Ces sensations d'inconfort appelées DOMS : *Delayed Onset Muscle Soreness* (Miles & Clarkson, 1994) se manifestent généralement dans les 24 h suivant l'exercice, ont leur apogée entre 48 et 72 h et disparaissent habituellement 5 à 7 jours après (Coudreuse, Dupont, & Nicol, 2007). Ces microtraumatismes du tissu conjonctif engendrent une récupération lente des tissus lésés. Il ne faut que quelques heures pour permettre la dégradation des tissus lésés, mais la phase de régénération comporte un processus inflammatoire qui dure de 2 à 4 jours (Armstrong, 1984), et ce n'est qu'au bout de 10 à 14 jours que le muscle lésé retrouve son intégrité structurale et fonctionnelle. Les microlésions provoquent des variations chimiques, mécaniques et thermiques dans le muscle, connues pour activer des afférences nociceptives. L'activation de ces afférences traduit des messages de douleurs aiguës et localisées suivi de sensations douloureuses diffuses qui peuvent s'étendre aux autres compartiments musculaires. Ces douleurs disparaissent au bout de 3 jours environ, mais la restructuration du muscle, à la fois structurale et fonctionnelle n'est effective qu'au bout d'une dizaine de jours.

De plus, les DOMS provoquent des réductions de l'activation musculaire et baisse de force musculaire, des diminutions des amplitudes articulaires, ainsi qu'une baisse des qualités proprioceptives (Linnamo, Moritani, Nicol, & Komi, 2003 ; Coudreuse, Dupont, & Nicol, 2007). Ce sujet ne sera pas abordé dans cette étude.

5. DOMS et TENS : les effets

Plusieurs traitements existent afin de réduire les courbatures, mais très peu ont été étudiés et surtout validés. On retrouve néanmoins des effets positifs dans la réduction de la douleur grâce à l'hydrothérapie (Vaile, Halson, Gill, & Dawson, 2008), à l'acupuncture (Hübscher, Vogt, Bernhörster, Rosenhagen, & Banzer, 2008 ; Itoh, Ochi, & Kitakoji, 2008) et aussi aux massages (Zainuddin, Newton, Sacco, & Nosaka, 2005). On retrouve en plus des techniques comme la cryothérapie, les étirements, les ultra-sons, l'homéopathie... susceptibles d'être bénéfique afin de réduire les douleurs (mais non validé) (Coudreuse et al, 2007).

De plus, peu d'article abordent les effets des TENS sur ces DOMS. Certains d'entre eux exposent des effets négatifs de la neurostimulation cutanée (Coudreuse et al., 2007 ; Laufer et al., 2011). Mais si l'on en croit toutes les études qui existent sur la réduction de la douleur liée à différentes pathologies et surtout la lombalgie (Deyo et al., 1990 ; Beurskens et al., 1996 ; Keskin et al., 2012 ; Pallett et al., 2013), alors le TENS pourrait dans ce cas, être sensiblement efficace dans la réduction de sensation des courbatures sur une partie précise du corps.

De ce fait, notre but est d'étudier un appareil permettant une diminution de ces douleurs musculaires : le Sudoloris.

II. Problématique

Le Sudoloris de Sport-elec est un appareil produisant un courant TENS (Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation). Son but est d'inhiber la douleur tissulaire grâce à une stimulation électrique transmise par une électrode positionnée directement à l'endroit de la douleur, sur la peau du sujet, pendant une durée relativement courte (environ 1 heure). On retrouve donc les caractéristiques du TENS conventionnel avec une fréquence élevée et une intensité faible. Ce type de produit est destiné à la fois aux particuliers et aux professionnels.

Le Sudoloris est un produit destiné à réduire voire à éliminer des douleurs d'ordre musculaires, tissulaire grâce à une électrode de grandeur importante. La douleur doit être inhibée grâce aux stimulations ; La théorie du portillon ou « Gate-control » afin de réduire les DOMS est donc utilisée pour ce produit.



Figure 1. Le produit Sudoloris

Dans cette étude, l'objectif est de voir l'impact qu'a le Sudoloris sur la douleur d'un sujet. Nous pouvons ainsi établir notre problématique :

L'application du Sudoloris permet-elle une inhibition totale de la sensation de douleur liée aux DOMS chez le sujet ?

Cette inhibition dépend-t-elle de l'endroit spécifique où le TENS est placé ou bien peut-elle être étendue à un groupe de muscle voire à l'ensemble du corps ?

III. Protocole

Pour répondre à cette question, un protocole expérimental est mis en place. Pour cela, nous avons décidé de réaliser l'étude sur des sujets étudiants inscrits au SUAPS (Service Universitaire des Activités Physiques et Sportives) et donc participants à des cours sportifs collectifs hebdomadaires avec un travail dominant des membres inférieurs. Le but est de recruter et d'évaluer les sujets à l'ouverture du SUAPS, le 16 septembre. Nous partons, en effet, du principe que les étudiants s'inscrivant au sport universitaire n'ont pas fait d'activités physiques pendant 3 mois (vacances scolaires), les douleurs musculaires (DOMS) seraient donc au maximum au moment de la reprise de l'activité physique. L'évaluation d'un muscle est donc nécessaire et nous allons nous concentrer sur le quadriceps car très puissant et c'est le principal muscle du membre inférieur.

1. La population

Cette étude est composée de 80 sujets. Tous ces volontaires sont :

- Etudiants donc inscrits à l'université de ROUEN
- Inscrits au SUAPS (Service Universitaire des Activités Physiques et Sportives)
- De sexe féminin

Pas de limite d'âge pour cette étude.

4 groupes sont alors constitués de façon totalement aléatoire (par tirage au sort) :

- G1 : les sujets ne portent pas de Sudoloris – groupe témoin
- G2 : les sujets portent un Sudoloris sur le quadriceps de la jambe droite
- G3 : les sujets portent un Sudoloris sur le quadriceps de la jambe gauche
- G4 : les sujets portent deux Sudoloris ; un sur le quadriceps droit et un sur le quadriceps gauche

Chaque groupe est composé de 20 sujets. Tous les sujets participent à des séances d'activités physiques et sportives collectives ou individuelles, sollicitant principalement les membres

inférieurs, au centre sportif du Bois ou au gymnase STAPS à Mont Saint Aignan : Powerfit, Body-Attack, Fessier Abdo Cuisse, badminton, course à pied...

2. Matériels et méthodes

Pour l'évaluation des effets de ce Sudoloris, des outils sont nécessaires afin de comparer chaque groupe et chaque sujet.

a. Le WOMAC

Un questionnaire est utilisé, le WOMAC (Western Ontario and Mc Master University Osteo-arthritis Index) (Bellamy, Wilson, & Hendrikz, 2011), mais nous utiliserons uniquement les questions relatives au domaine de la douleur. Le WOMAC est un questionnaire validé dans de multiples langues, pour permettre de voir les incapacités fonctionnelles et les raideurs suite à une ostéo-arthrose. Il comporte 3 domaines de questions : l'incapacité, la raideur et la douleur. Pour cette étude, nous avons décidé de l'utiliser pour nous permettre de quantifier les douleurs musculaires de chaque individu. Les domaines d'incapacité et de raideur ne sont donc pas utilisés. Pour répondre au questionnaire, l'échelle de Likert permet une quantification des douleurs (Matell & Jacoby, 1972).

Questionnaire WOMAC utilisé pour l'étude : voir *annexe 2*

b. L'Echelle Numérique

De plus, une Echelle Numérique (EN) d'autoévaluation (Ritter, González, Laurent, & Lorig, 2006) est une dérivée de l'Echelle Visuelle Analogique (EVA) (Aitken, 1969 ; Price, McGrath, Rafii, & Buckingham, 1983) et peut être utilisée pour quantifier séparément la douleur des muscles du membre inférieur (quadriceps droit et gauche, ischio-jambiers droit et gauche, muscles jumeaux droit et gauche, tibial antérieur droit et gauche) (Berthier, Potel, Leconte, Touze, & Baron, 1998).

Echelle numérique utilisée pour l'étude : voir *annexe 3*

Chaque sujet devra les remplir à des moments précis.

De même chaque sujet, hormis le groupe témoin, aura en charge d'utiliser le Sudoloris à des instants donnés, pendant une durée précise, afin de voir l'impact sur les douleurs musculaires.

3. Mise en place du protocole

La durée de l'étude est de 3 semaines. L'objectif est d'avoir les données des sujets durant chaque séance hebdomadaire. Lors du recrutement des sujets, directement sur les lieux des cours et avant le 1^{er} cours, les Sudoloris sont donnés en fonction du tirage au sort des groupes de population. Une explication d'utilisation du TENS est ensuite prodiguée.

Le Sudoloris doit être positionné sur la cuisse, au niveau du quadriceps dans la position verticale de l'électrode, soit donc dans la longueur du muscle.

Les sujets des trois derniers groupes doivent mettre le Sudoloris sur le quadriceps, en position P3 (3^{ème} puissance). Si cette intensité n'est pas supportable, ils peuvent baisser la puissance à P2 en l'indiquant lors du questionnaire d'évaluation WOMAC.

Le Sudoloris doit être utilisé à 3 moments :

- 24h après la séance
- 48h après la séance
- 72h après la séance

Il doit être appliqué sur la peau pendant une durée d'une heure. Pendant cette période, le sujet peut continuer ces activités quotidiennes.

Ensuite le questionnaire WOMAC, ainsi que l'échelle numérique doivent être remplis par chaque sujet pour évaluer leur sensation de douleur musculaire au niveau des membres inférieurs, à droite et à gauche, pour tous les muscles.

Pour le WOMAC, plus la somme des réponses est élevée, plus le sujet ressent des DOMS (Delayed Onset Muscle Sorenes) au niveau du membre inférieur.

Chaque sujet doit compléter ces outils :

- 24h après la séance
- 48h après la séance
- 72h après la séance

Pour les groupes 2, 3 et 4, les questionnaires sont à compléter après la séance d'électrostimulation du Sudoloris d'une heure.

Le suivi des sujets est effectué chaque semaine durant les trois semaines de l'étude. En effet, à chaque cours de sport, les sujets doivent remettre les questionnaires remplis.

La comparaison des résultats provenant des questionnaires WOMAC et des échelles numériques sera réalisée pour ensuite évaluer le rôle du TENS Sudoloris dans l'inhibition de la douleur au niveau du quadriceps chez l'étudiant reprenant une activité sportive.

A partir de ces résultats, une hypothèse pourra être validée et nous pourrons ainsi comprendre si cette inhibition de la douleur du muscle est possible grâce à une seule électrode ou bien si deux sont nécessaires. De plus, nous comprendrons si l'inhibition est restreinte à l'endroit précis de l'électrode ou bien si cette inhibition s'étend plus largement à un groupe musculaire voire à tout le membre inférieur. Nous pouvons aussi réfléchir à la question concernant le nombre de séances d'électrostimulation nécessaire, une seule est-elle suffisante pour supprimer la douleur ou faut-il en réaliser plusieurs ?

IV. Résultats

1. Analyses statistiques

Dans cette étude, les valeurs sont exprimées en moyenne \pm écart-type. Un test de normalité des distributions a été réalisé avant de mettre en œuvre une ANOVA. Lorsque l'analyse de variance relève un effet significatif, cela détermine un effet du groupe et/ou du temps et/ou du muscle...

Un test post-hoc est alors effectué : le HSD de Tukey afin de déterminer les principales différences si un effet significatif est trouvé.

Une valeur de $p \leq 0,05$ est considérée comme représentant une différence significative.

Dans cette analyse statistique, nous exposons les résultats de façon globale pour une meilleure compréhension. Mais, pour plus de détails, les résultats complets se trouveront en *annexe 4*.

a. Le WOMAC

Le questionnaire WOMAC nous donne des résultats par rapport à la douleur ressentie pour chaque groupe et pour chaque personne.

- Concernant le critère « délai » : 24, 48 et 72h, nous observons une diminution des résultats avec le temps (figure 2).

En effet, plus le temps évolue, plus les valeurs retrouvées grâce au questionnaire WOMAC diminuent.

Lorsque l'on regarde les statistiques, tous les délais sont différents les uns des autres. Ils présentent donc un effet significatif à $p \leq 0,05$ ($p = 0,000113$).

Il y a donc un effet significatif du « délai ».

Nous pouvons observer cet effet grâce au graphique ci-dessous (figure 2) qui montre la diminution de la sensation de la douleur avec le temps.

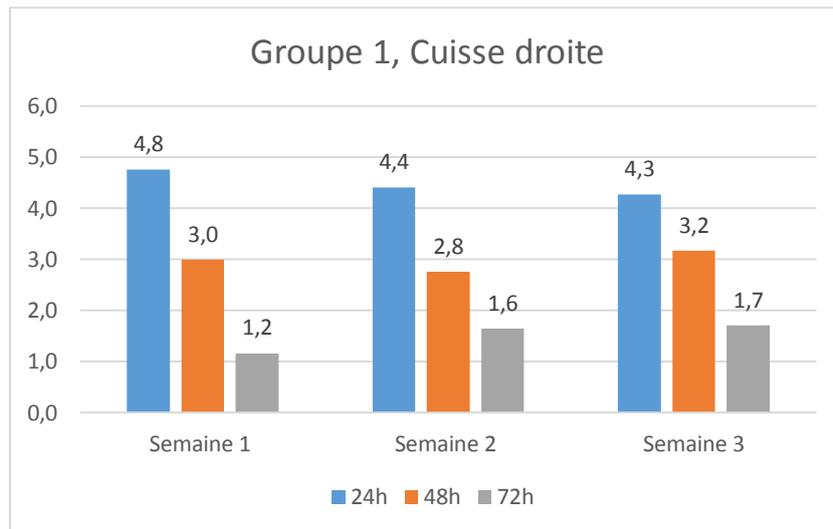


Figure 2. Graphique WOMAC groupe 1, cuisse droite

- En revanche, on ne retrouve pas d'effets significatifs concernant le critère « semaine » : semaine 1, semaine 2, semaine 3.

On observe que pour les 4 groupes, les valeurs ne diminuent pas (ou très peu pour le groupe 2 et 3) en fonction des semaines (figure 3).

De ce fait, au niveau statistique, p est supérieur à 0,05, il n'y a donc pas d'effet significatif du critère « semaine ».

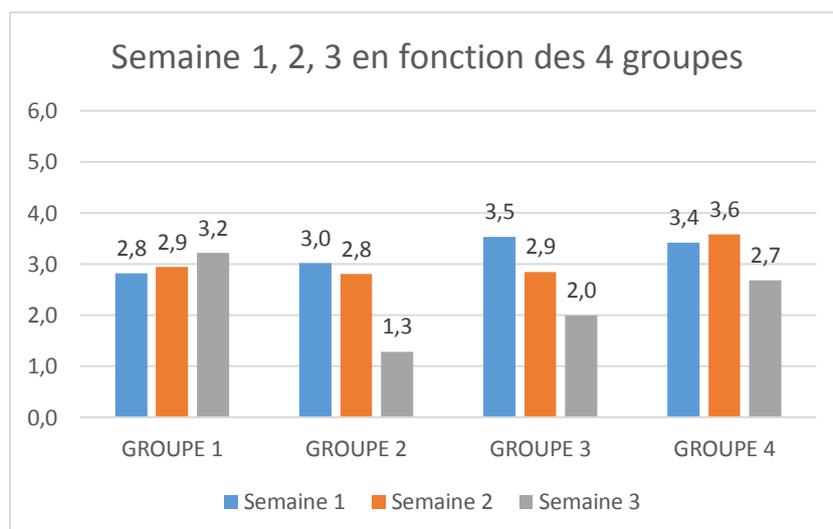


Figure 3. Graphique WOMAC semaine 1, 2, 3 en fonction des 4 groupes

- On mesure des résultats importants quant aux valeurs de la sensation de la douleur de la cuisse droite et de la cuisse gauche par rapport aux groupes d'études.

En effet, nous pouvons observer une différence des résultats suite à la position du Sudoloris. Cela est visible sur le graphique suivant (figure 4).

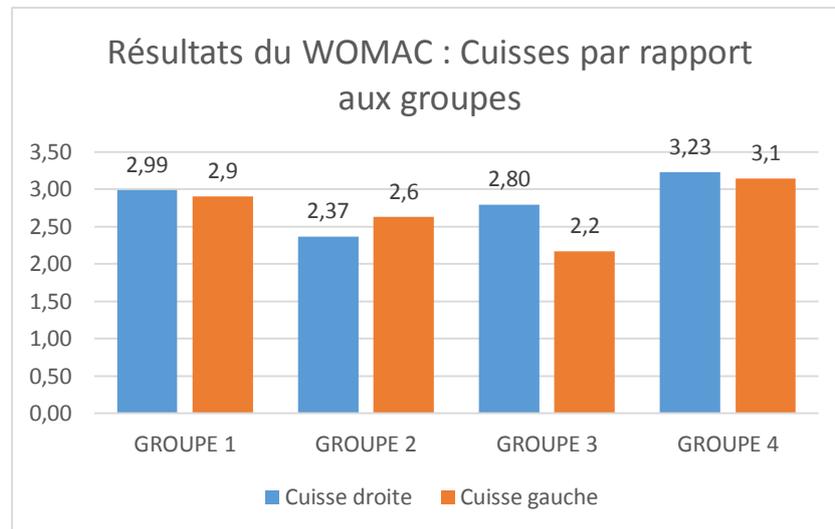


Figure 4. Graphique WOMAC, cuisses par rapport aux 4 groupes

Au niveau statistique, concernant le critère « groupe et cuisse », il y a un effet significatif avec $p \leq 0,05$ ($p = 0,000068$).

Mais avec l'utilisation du HSD de Tukey, on ne remarque des différences « groupe et cuisse » qu'au niveau du groupe 3, cuisse droite et cuisse gauche.

Et donc on retrouve un effet significatif à $p = 0,000492$.

b. Les Echelles Numériques

Au vu des résultats que nous apportent les échelles numériques (figure 5), nous avons décidé de réaliser une réduction de protocole en ne prenant en considération que les muscles Quadriceps droit et gauche et les muscles Ischio-jambiers droit et gauche pour réaliser les statistiques.

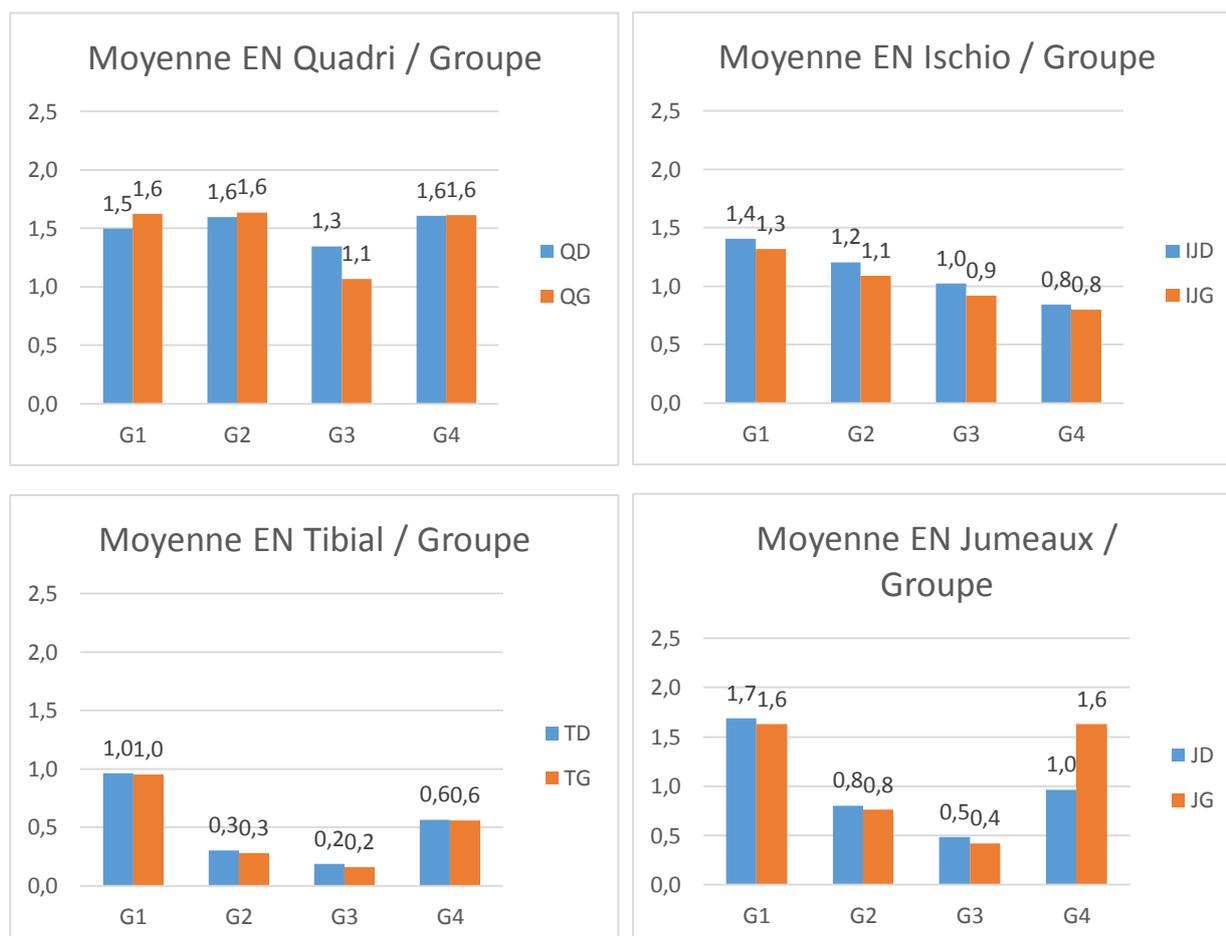


Figure 5. Graphique Echelles Numériques de chaque muscle et chaque groupe

En effet, on observe que les muscles tibiaux antérieurs et jumeaux antérieurs ne nous permettent pas une bonne interprétation des résultats.

De ce fait, contrairement au questionnaire WOMAC, ici 4 muscles sont répertoriés.

- Comme précédemment, le critère « délai » est un point important : 24, 48 et 72h.

En effet, on observe une diminution des résultats pour chaque délai ; chaque muscle et chaque groupe (figure 6).

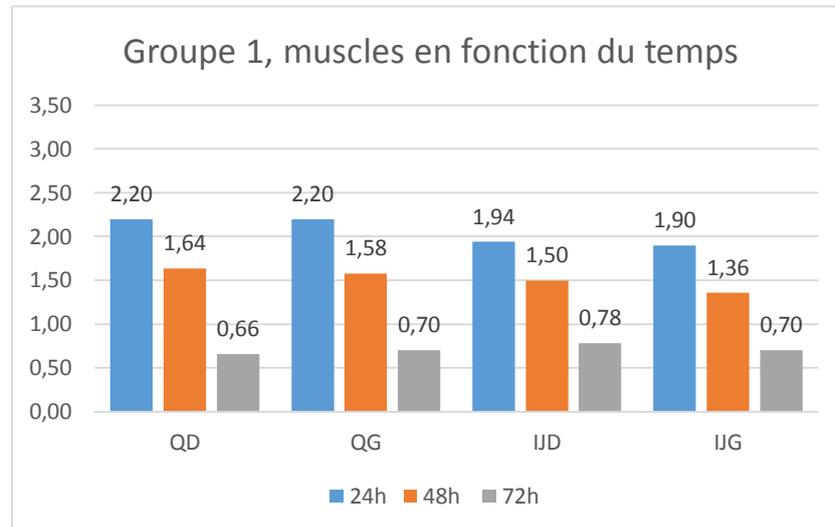


Figure 6. Graphique échelles numériques, muscles en fonction du temps

Statistiquement, on mesure une différence absolue entre tous les délais avec $p \leq 0,05$ ($p = 0,000114$).

Nous sommes donc en présence d'un effet significatif du critère « délai ».

- Concernant le critère « semaine », les mesures affichées sont sensiblement les mêmes pour chaque groupe, d'une semaine à l'autre (figure 7).

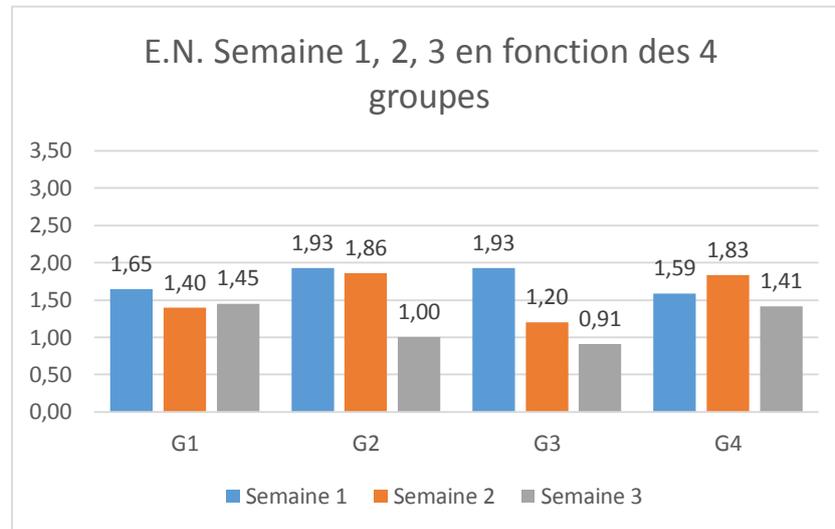


Figure 7. Graphique Echelles Numériques, semaine 1, 2, 3 en fonction des 4 groupes

Le critère « semaine » présente un effet significatif avec $p \leq 0,05$ ($p = 0,044510$).

Cependant, lors de la réalisation du post-doc, HDS de Tukey, on ne retrouve aucune différence entre les semaines.

P est donc supérieur à 0,05 et donc nous ne pouvons pas conclure d'un effet significatif du critère « semaine ».

- En ce qui concerne le critère « muscle », chaque muscle, quadriceps droit, quadriceps gauche, ischio-jambier droit, ischio-jambier gauche présente des valeurs différentes les uns des autres (figure 8).

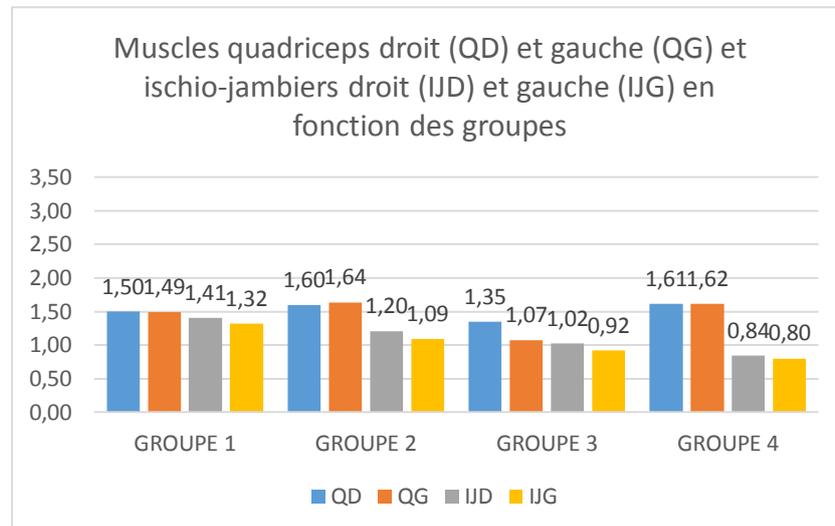


Figure 8. Graphique Echelles Numériques, muscles quadriceps et ischio-jambiers en fonction des groupes.

Statistiquement, tous les muscles sont tous différents les uns des autres sauf de leur homologue (droit, gauche).

Nous observons donc un effet significatif du critère « muscle » à $p \leq 0,05$.

- Il en est de même concernant le critère « muscle » associé au « délai » (24, 48, 72h).

Chaque mesure diminue pour chaque muscle du moment que le délai augmente (figure 9).

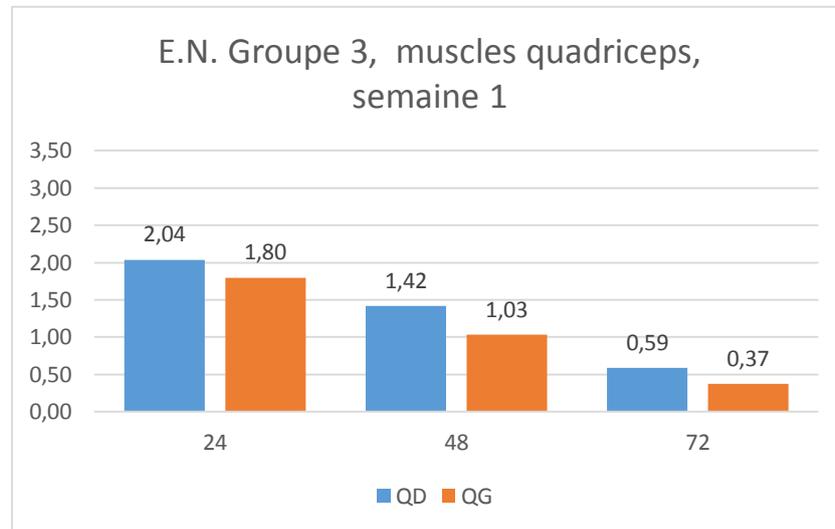


Figure 9. Graphique Echelles Numériques, groupe 3, semaine 1, muscles quadriceps en fonction du temps.

On retrouve cette diminution pour chaque muscle et chaque délai. De même, statistiquement on retrouve ces résultats.

Effet significatif du critère « muscle » associé au critère « délai » à $p \leq 0,05$ sauf pour le délai 72h.

Cet effet n'est pas significatif lorsque les muscles sont homologues (droit, gauche) et donc $p > 0,05$.

L'effet est donc significatif pour les délais 24h et 48h et pour les muscles quadriceps et ischio-jambiers (côtés opposés) à $p \leq 0,05$.

En ce qui concerne les échelles numériques, on ne retrouve pas d'effets significatifs au niveau du critère « groupe » associé au critère « muscle », ce qui diffère du questionnaire WOMAC, p est donc $> 0,05$ alors que le WOMAC donne un effet significatif à $p = 0,000068$.

2. Interprétation des résultats

Grâce à l'analyse statistique réalisée ci-dessus, nous pouvons maintenant interpréter clairement les résultats.

Chaque groupe se différencie par l'endroit de pose du Sudoloris. Le groupe 1 est notre groupe témoin donc sans Sudoloris, le groupe 2 a un Sudoloris sur le quadriceps droit, le groupe 3 en a un sur le quadriceps gauche et le groupe 4 a deux Sudoloris sur les deux quadriceps droit et gauche.

Une fois le protocole réalisé, les valeurs collectées et les analyses statistiques nous donne une interprétation des résultats concernant les sensations de douleurs de chaque groupe par rapport à l'action du Sudoloris.

Avec le WOMAC, on observe qu'au niveau du groupe 1, la douleur ressentie de la cuisse droite (quadriceps droit) : $1,50 \pm 0,78$ n'est pas différente à celle de la cuisse gauche (quadriceps gauche) : $1,49 \pm 0,75$.

En revanche, le groupe 2 ne nous donne pas les mêmes résultats. En effet, la douleur ressentie au niveau de la cuisse droite : $1,60 \pm 0,91$ est différente de la sensation de douleur de la cuisse gauche : $1,64 \pm 0,88$.

De même, les valeurs du groupe 3 nous donnent les résultats suivants : la sensation de douleur ressentie au niveau de la cuisse droite : $1,35 \pm 0,73$ est différente à celle ressentie sur la cuisse gauche : $1,07 \pm 0,71$.

Pour finir, le groupe 4 qui regroupe les volontaires portants les deux Sudoloris montre une sensation de douleur qui n'est pas différente que ce soit pour la cuisse droite : $1,61 \pm 1,14$ et pour la cuisse gauche : $1,62 \pm 1,13$.

On peut donc voir plus précisément que le groupe 2 (composé de volontaires avec Sudoloris sur quadriceps droit) et le groupe 3 (composé de volontaires avec Sudoloris sur quadriceps gauche) montre que le Sudoloris présente un effet par rapport à sa localisation.

Le groupe 1 (volontaires sans Sudoloris) et groupe 4 (volontaires avec Sudoloris sur le quadriceps droit et le quadriceps gauche) nous donnent des informations qui montrent que malgré les deux Sudoloris, la réduction des sensations de douleur ne diffèrent presque pas par

rapport au groupe 1. Les douleurs diminuent avec le temps (J1-J2-J3) pour les deux groupes mais les deux Sudoloris ne permettent pas une réduction plus importante.

Et, avec les échelles numériques, on voit que la sensation de la douleur est aussi influencée par la localisation du Sudoloris. En effet, on peut voir que seul, le muscle quadriceps donne des sensations de douleur évolutives d'une jambe à l'autre car, quand il y a Sudoloris, ce dernier est positionné sur le quadriceps.

Grâce aux résultats, on s'aperçoit que le Sudoloris a une action localisée, et non diffuse. Ces effets ne vont pas avoir d'impact sur les autres muscles autour de l'endroit où le Sudoloris est appliqué.

v. Discussion

Les deux questionnaires, le WOMAC (Bellamy et al., 2011) et les échelles numériques (Aitken, 1969; Ritter et al., 2006), que nous avons utilisés pour réaliser cette étude nous ont donné des résultats très importants pour comprendre l'impact du courant Sudoloris sur les sensations de douleur musculaire.

En effet, comme nous avons pu le voir, grâce aux résultats et aux analyses statistiques, nous mesurons, avec les deux questionnaires, l'importance du délai (Sudoloris posé après 1 ou plusieurs jours suite à un effort) mais aussi et surtout l'importance de la position du Sudoloris.

Le WOMAC et les échelles numériques sont certes deux tests différents, ils nous montrent des résultats semblables et permettent une interprétation précise quant au rôle du courant Sudoloris.

Concernant le questionnaire WOMAC, l'interprétation des résultats fut plus « facile » et plus « claire » pour observer l'impact du Sudoloris sur les douleurs des volontaires. Cependant, pour cette étude, nous avons choisi de prendre en considération que l'item « douleur » du questionnaire WOMAC (F. Wolfe, 1999; Frederick Wolfe & Kong, 1999) afin de faire répondre les volontaires par rapport à leur sensation de douleur respective sur les membres inférieurs et non sur les autres items du questionnaires. Nous n'avons pas jugé nécessaire de prendre le questionnaire dans son ensemble car les autres parties étaient réservées à la fonction, à la raideur (Pollard, Johnston, & Dixon, 2012; F. Wolfe, 1999)... Ceci n'était pas réellement important dans cette étude et nous avons préféré restreindre les questions à cet item afin d'objectiver nos résultats.

Concernant les échelles numériques, l'objectif du début était de voir si le courant Sudoloris avait un effet à l'endroit de son application, mais aussi si ce dernier permettait une propagation de ses effets sur un ensemble de chaînes musculaires. Grâce aux résultats et aux statistiques, nous nous sommes aperçus que l'effet était important à l'endroit de l'application du Sudoloris mais que la diffusion de l'effet n'était pas réellement ressentie. De ce fait, concernant les statistiques des échelles numériques, nous avons décidé de réaliser une réduction du protocole et de n'utiliser que les résultats des muscles quadriceps et ischio-jambiers. En effet, les sensations de douleurs au niveau des muscles jumeaux et tibiaux antérieurs ne présentaient pas d'effets significatifs grâce au Sudoloris, et nous nous sommes aperçus que ces données altéraient les résultats au niveau des autres muscles. Cette réduction de protocole nous a donc permis de nous concentrer sur les muscles les plus importants au niveau de l'application du

courant Sudoloris. On observe dorénavant que l'analyse des résultats et des statistiques sont similaires en ce qui concerne le WOMAC et les échelles numériques.

Sans cette réduction, les échelles numériques n'auraient pu être utilisées. Nous aurions utilisé le questionnaire WOMAC seul, ce qui aurait diminué l'objectivité de l'étude.

Grâce à ces questionnaires, on peut maintenant voir l'impact du courant Sudoloris sur les sensations de douleurs de nos volontaires après un effort physique.

On voit que la sensation de douleur diminue grâce au temps qui s'écoule, ceci est donné par une explication physiologique de la composition musculaire suite à sa restauration (Cohen & Cantecorp, 2011; Coudreuse et al., 2007; Miles & Clarkson, 1994; Santoro et al., 2011). En effet, les volontaires après une activité sportive vont avoir une sensation de douleur importante à 24h après l'effort, avec un pic à environ 48h puis une diminution de cette douleur en avançant dans le temps (Boureau & Luu, 1988; Carrillon & Cohen, 2007; Cohen & Cantecorp, 2011).

Comme nous avons pu le voir lors de l'introduction (cf 3. Etudes liées au TENS), les TENS permettent des améliorations pour différentes pathologies. Notre étude devait donc montrer un nouvel intérêt du TENS et permettre de voir si ce courant avait un impact sur les douleurs musculaires après un effort.

Jones & Johnson (2009), nous montrent que l'efficacité d'un TENS dépend de son application sur la peau. Des zones, des endroits précis sont donc appropriés pour soulager les douleurs.

C'est également ce que nous retrouvons dans notre étude. En effet, grâce aux résultats, on voit que le courant Sudoloris permet une diminution significative de la sensation de la douleur au niveau de l'endroit où est positionné le produit. On peut voir que lorsque le Sudoloris est appliqué sur un quadriceps (droit ou gauche), la sensation de la douleur va être diminuée au niveau du quadriceps qui porte le produit (Jones & Johnson, 2009). Ce qui est en accord avec les résultats de notre étude.

Ces résultats sont retrouvés à la fois pour le questionnaire WOMAC et pour les échelles numériques. La sensation de la douleur des individus diminuent pour les deux questionnaires.

Cependant, même si la diminution de la sensation de douleur est mesurée à l'endroit où est mis le produit, nous ne mesurons pas de diminution significative de la douleur sur les autres parties du membre inférieur comme le muscle quadriceps. Le courant Sudoloris ne permet donc pas une propagation de ses effets à d'autres muscles que celui où il est appliqué (Jones & Johnson, 2009).

De plus, on pouvait penser que lorsque deux Sudoloris étaient utilisés, pour le quadriceps droit et pour le quadriceps gauche, la sensation de la douleur devait être moins importante que lorsqu'un seul produit était mis sur un côté. Cependant, on se rend compte que cette douleur, à 24h après l'effort, est élevée pour les deux quadriceps après une séance de Sudoloris. La diminution de cette douleur a lieu grâce au Sudoloris mais cette diminution n'est pas plus importante que lorsqu'un seul Sudoloris est appliqué sur un seul quadriceps. On peut donc penser que l'effet du courant Sudoloris est diffus lorsque les deux cuisses en porte un. En effet, avec un seul Sudoloris, la sensation de la douleur est d'avantage captée au niveau du cerveau car une différence est ressentie entre les deux cuisses : théorie du « Gate control » du courant TENS (Moayed & Davis, 2013) (Annexe 1).

En plus de cela, l'effet placebo a pu jouer un rôle au sein de l'étude. Comme nous en parle Oosterhof et al. (2012), le courant TENS joue un effet placebo assez important dans la réduction des douleurs. On peut donc penser que, dans notre étude, cet effet soit ressenti par nos volontaires (Oosterhof et al., 2012).

Il faut néanmoins préciser, que certains questionnaires n'ont pas été remplis correctement par les volontaires. Cela a donc provoqué une perte de certaines données. Soit environ une perte de 10% pour le questionnaire WOMAC et un peu plus (environ 20-25%) pour les échelles numériques.

Ces pertes de données peuvent, peut-être, être responsables de résultats « contradictoires » pour le groupe avec les deux Sudoloris. Ou bien expliquer nos résultats concernant les échelles qui nous ont poussés à réduire notre protocole.

Cependant, une chose est sûre, nous pouvons maintenant affirmer que le produit Sudoloris qui permet d'émettre un courant TENS au niveau tissulaire et musculaire, présente des effets significatifs concernant la sensation de la douleur des individus à l'endroit de son application (sur le muscle) et permet de ce fait une diminution de cette douleur (Jones & Johnson, 2009). De plus, cette diminution grâce au courant Sudoloris est aussi augmentée en fonction du délai. En effet, la douleur diminue significativement avec le temps et cette diminution est plus importante grâce à l'application du Sudoloris (Boureau & Luu, 1988; Carrillon & Cohen, 2007; Cohen & Cantecorp, 2011; Coudreuse et al., 2007; Miles & Clarkson, 1994; Santoro et al., 2011).

VI. Conclusion

L'objectif de notre étude était de voir si le produit Sudoloris avait un impact sur la sensation de douleur.

Grâce à ce protocole, nous pouvons maintenant conclure que le courant Sudoloris permet une diminution de la sensation de douleur au niveau tissulaire et musculaire. Cette diminution sera ressentie à l'endroit où le produit est appliqué. En effet, nous insistons sur l'importance de l'application du Sudoloris car nous nous sommes rendus compte que ce produit ne permettait pas une diffusion de ces effets et donc ne permet pas une diminution de la sensation de douleur sur d'autres muscles que celui où le Sudoloris est appliqué (Jones & Johnson, 2009).

L'objectif de ce Sudoloris permet un effet rééducatif pour diminuer les douleurs liées aux DOMS, aux courbatures.

Nous comprenons le rôle du Sudoloris grâce à la théorie du « Gate control » concernant la sensation de la douleur qui permet sa diminution mais nous pouvons nous demander :

Est-ce que le courant Sudoloris permet, en plus d'une diminution de la sensation de douleur, une amélioration plus rapide et donc une restauration tissulaire plus importante suite aux dégradations musculaires liées à un effort ?

VII. Liste des figures et tableaux

- Figure 1. Le produit Sudoloris
- Figure 2. Graphique WOMAC groupe 1, cuisse droite
- Figure 3. Graphique WOMAC semaine 1, 2, 3 en fonction des 4 groupes
- Figure 4. Graphique WOMAC cuisses par rapport aux 4 groupes
- Figure 5. Graphique Echelles Numériques de chaque muscle et chaque groupe
- Figure 6. Graphique Echelles Numériques, muscles en fonction du temps
- Figure 7. Graphique Echelles Numériques, semaine 1, 2, 3 en fonction des 4 groupes
- Figure 8. Graphique Echelles Numériques, muscles quadriceps et ischio-jambiers en fonction des groupes
- Figure 9. Graphique Echelles Numériques, groupe 3, semaine 1, muscles quadriceps en fonction du temps

VIII. Bibliographie

- Aitken, R. C. (1969). Measurement of feelings using visual analogue scales. *Proceedings of the Royal Society of Medicine*, 62(10), 989–993.
- Armstrong, R. B. (1984). Mechanisms of exercise-induced delayed onset muscular soreness: a brief review. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 16(6), 529–538.
- Atamaz, F. C., Durmaz, B., Baydar, M., Demircioglu, O. Y., Iyiyapici, A., Kuran, B., ... Sendur, O. F. (2012). Comparison of the efficacy of transcutaneous electrical nerve stimulation, interferential currents, and shortwave diathermy in knee osteoarthritis: a double-blind, randomized, controlled, multicenter study. *Archives Of Physical Medicine And Rehabilitation*, 93(5), 748–756. doi:10.1016/j.apmr.2011.11.037
- Bellamy, N., Wilson, C., & Hendrikz, J. (2011). Population-based normative values for the Western Ontario and McMaster (WOMAC) Osteoarthritis Index: part I. *Seminars in Arthritis and Rheumatism*, 41(2), 139–148. doi:10.1016/j.semarthrit.2011.03.002
- Beurskens, A. J., de Vet, H. C., & Köke, A. J. (1996). Responsiveness of functional status in low back pain: a comparison of different instruments. *Pain*, 65(1), 71–76.
- Bjordal, J. M., Johnson, M. I., & Ljunggreen, A. E. (2003). Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) can reduce postoperative analgesic consumption. A meta-analysis with assessment of optimal treatment parameters for postoperative pain. *European Journal of Pain*, 7(2), 181–188. doi:10.1016/S1090-3801(02)00098-8
- Boureau, F., & Luu, M. (1988). Les méthodes d'évaluation de la douleur clinique. *Douleur et Analgésie*, 1(2), 65–73. doi:10.1007/BF03006125
- Breton, D. L. (2006). *Anthropologie de la douleur*. Editions Métailié.
- Burch, F. X., Tarro, J. N., Greenberg, J. J., & Carroll, W. J. (2008). Evaluating the benefits of patterned stimulation in the treatment of osteoarthritis of the knee: a multi-center,

- randomized, single-blind, controlled study with an independent masked evaluator. *Osteoarthritis And Cartilage / OARS, Osteoarthritis Research Society*, 16(8), 865–872. doi:10.1016/j.joca.2007.11.013
- Carrillon, Y., & Cohen, M. (2007). Le muscle du sportif. *Journal de Radiologie*, 88(1, Part 2), 129–140. doi:10.1016/S0221-0363(07)89801-5
- Cohen, J. (analytic), & Cantecorp, K. (analytic). (2011). Les DOMS: compréhension d'un mécanisme en vue d'un traitement masso-kinésithérapique préventif (French). *DOMS: Understanding the Mechanism to Enable Preventive Physiotherapy (English)*, (113), 15–20.
- Coudreuse, J.-M., Dupont, P., & Nicol, C. (2007). Douleurs musculaires post-effort. *Journal de Traumatologie Du Sport*, 24(2), 103–110. doi:10.1016/j.jts.2007.03.006
- Deyo, R. A., Walsh, N. E., Martin, D. C., Schoenfeld, L. S., & Ramamurthy, S. (1990). A Controlled Trial of Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation (TENS) and Exercise for Chronic Low Back Pain. *New England Journal of Medicine*, 322(23), 1627–1634. doi:10.1056/NEJM199006073222303
- Duquette, M., Roy, M., Leporé, F., Peretz, I., & Rainville, P. (2007). Mécanismes cérébraux impliqués dans l'interaction entre la douleur et les émotions. *Revue Neurologique*, 163(2), 169–179. doi:10.1016/S0035-3787(07)90388-4
- Ekim, A., Armağan, O., & Oner, C. (2008). [Efficiency of TENS treatment in hemiplegic shoulder pain: a placebo controlled study]. *Ağrı: Ağrı (Algoloji) Derneği'nin Yayın Organıdır = The Journal Of The Turkish Society Of Algology*, 20(1), 41–46.
- Geng, B., Yoshida, K., Petrini, L., & Jensen, W. (2012). Evaluation of sensation evoked by electrocutaneous stimulation on forearm in nondisabled subjects. *Journal of Rehabilitation Research & Development*, 49(2), 297–308. doi:10.1682/JRRD.2010.09.0187

- Hübscher, M., Vogt, L., Bernhörster, M., Rosenhagen, A., & Banzer, W. (2008). Effects of acupuncture on symptoms and muscle function in delayed-onset muscle soreness. *Journal of Alternative and Complementary Medicine (New York, N.Y.)*, 14(8), 1011–1016. doi:10.1089/acm.2008.0173
- Itoh, K., Ochi, H., & Kitakoji, H. (2008). Effects of tender point acupuncture on delayed onset muscle soreness (DOMS)--a pragmatic trial. *Chinese Medicine*, 3, 14–14. doi:10.1186/1749-8546-3-14
- Johnson, M. I., & Tabasam, G. (2003). An Investigation Into the Analgesic Effects of Interferential Currents and Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation on Experimentally Induced Ischemic Pain in Otherwise Pain-Free Volunteers. *Physical Therapy*, 83(3), 208–223.
- Jones, I., & Johnson, M. I. (2009). Transcutaneous electrical nerve stimulation. *Continuing Education in Anaesthesia, Critical Care & Pain*, 9(4), 130–135. doi:10.1093/bjaceaccp/mkp021
- Keskin, E. A., Onur, O., Keskin, H. L., Gumus, I. I., Kafali, H., & Turhan, N. (2012). Transcutaneous electrical nerve stimulation improves low back pain during pregnancy. *Gynecologic And Obstetric Investigation*, 74(1), 76–83. doi:10.1159/000337720
- Kita, K., Otaka, Y., Takeda, K., Sakata, S., Ushiba, J., Kondo, K., ... Osu, R. (2013). A pilot study of sensory feedback by transcutaneous electrical nerve stimulation to improve manipulation deficit caused by severe sensory loss after stroke. *Journal of NeuroEngineering & Rehabilitation (JNER)*, 10(1), 1–16. doi:10.1186/1743-0003-10-55
- Laufer, Y., Tausher, H., Esh, R., & Ward, A. R. (2011). Sensory transcutaneous electrical stimulation fails to decrease discomfort associated with neuromuscular electrical stimulation in healthy individuals. *American Journal Of Physical Medicine &*

- Rehabilitation / Association Of Academic Physiatrists*, 90(5), 399–406.
doi:10.1097/PHM.0b013e318214f64a
- Le Bars, D., & Willer, J.-C. (2004). Physiologie de la douleur. *EMC - Anesthésie-Réanimation*, 1(4), 227–266. doi:10.1016/j.emcar.2004.08.001
- Linnamo, V., Moritani, T., Nicol, C., & Komi, P. V. (2003). Motor unit activation patterns during isometric, concentric and eccentric actions at different force levels. *Journal of Electromyography and Kinesiology: Official Journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 13(1), 93–101.
- Loh, J., & Gulati, A. (2013). The Use of Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation (TENS) in a Major Cancer Center for the Treatment of Severe Cancer-Related Pain and Associated Disability. *Pain Medicine (Malden, Mass.)*.
- Matell, M. S., & Jacoby, J. (1972). Is there an optimal number of alternatives for Likert-scale items? Effects of testing time and scale properties. *Journal of Applied Psychology*, 56(6), 506–509. doi:10.1037/h0033601
- Melzack, R., & Wall, P. D. (1984). Acupuncture and transcutaneous electrical nerve stimulation. *Postgraduate Medical Journal*, 60(710), 893–896.
- Miles, M. P., & Clarkson, P. M. (1994). Exercise-induced muscle pain, soreness, and cramps. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 34(3), 203–216.
- Moayed, M., & Davis, K. D. (2013). Theories of pain: from specificity to gate control. *Journal of Neurophysiology*, 109(1), 5–12. doi:10.1152/jn.00457.2012
- Nicol, C. (2004). Ajustement du système nerveux en cas de courbatures musculaires. *Revue Neurologique*, 160(10), 974. doi:10.1016/S0035-3787(04)71128-5
- Oosterhof, J., Wilder-Smith, O. H., de Boo, T., Oostendorp, R. A. B., & Crul, B. J. P. (2012). The Long-Term Outcome of Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation in the

- Treatment for Patients with Chronic Pain: A Randomized, Placebo-Controlled Trial. *Pain Practice*, 12(7), 513–522. doi:10.1111/j.1533-2500.2012.00533.x
- Pallett, E. J., Rentowl, P., & Watson, P. J. (2013). Validation of two novel electronic devices to time-link transcutaneous electrical nerve stimulation and pain report in patients with chronic back pain. *The Clinical Journal Of Pain*, 29(1), 35–42. doi:10.1097/AJP.0b013e31824781d8
- Perez Machado, A. F., Santana, E. F., Tacani, P. M., & Liebano, R. E. (2012). The effects of transcutaneous electrical nerve stimulation on tissue repair: A literature review. *Les Effets de La Stimulation Nerveuse Électrique Transcutanée Sur La Réparation Tissulaire : Une Analyse Bibliographique.*, 20(4), 237–240.
- Pollard, B., Johnston, M., & Dixon, D. (2012). Exploring differential item functioning in the Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index (WOMAC). *BMC Musculoskeletal Disorders*, 13(1), 1–10. doi:10.1186/1471-2474-13-265
- Price, D. D., McGrath, P. A., Rafii, A., & Buckingham, B. (1983). The validation of visual analogue scales as ratio scale measures for chronic and experimental pain. *Pain*, 17(1), 45–56. doi:10.1016/0304-3959(83)90126-4
- Ritter, P. L., González, V. M., Laurent, D. D., & Lorig, K. R. (2006). Measurement of pain using the visual numeric scale. *The Journal of Rheumatology*, 33(3), 574–580.
- Santoro, D., Bellinghieri, G., & Savica, V. (2011). Development of the concept of pain in history. *Journal of Nephrology*, 24 Suppl 17, S133–136. doi:10.5301/JN.2011.6481
- Sun, C., Hu, C., Hao, H., Niu, C., & Li, L. (2013). Development of a uni-acupoint transcutaneous electric nerve stimulation device for electroacupuncture-like neuromodulation. *Conference Proceedings: ... Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine*

and Biology Society. Conference, 2013, 6155–6158.

doi:10.1109/EMBC.2013.6610958

Tyson, S. Fs.-D. (2013). The effects of transcutaneous electrical nerve stimulation on strength, proprioception, balance and mobility in people with stroke: a randomized controlled cross-over trial. *Clinical Rehabilitation, 27*(9), 785–791.

doi:10.1177/0269215513478227

Vanderthommen, M., Triffaux, M., Demoulin, C., Crielaard, J.-M., & Croisier, J.-L. (2012). Alteration of muscle function after electrical stimulation bout of knee extensors and flexors. *Journal of Sports Science & Medicine, 11*(4), 592–599.

Vera-Portocarrero, L. P., Cordero, T., Billstrom, T., Swearingen, K., Wacnik, P. W., & Johaneck, L. M. (2013). Differential Effects of Subcutaneous Electrical Stimulation (SQS) and Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation (TENS) in Rodent Models of Chronic Neuropathic or Inflammatory Pain. *Neuromodulation, 16*(4), 328–335.

doi:10.1111/ner.12037

Wolfe, F. (1999). Determinants of WOMAC function, pain and stiffness scores: evidence for the role of low back pain, symptom counts, fatigue and depression in osteoarthritis, rheumatoid arthritis and fibromyalgia. *Rheumatology, 38*(4), 355–361.

doi:10.1093/rheumatology/38.4.355

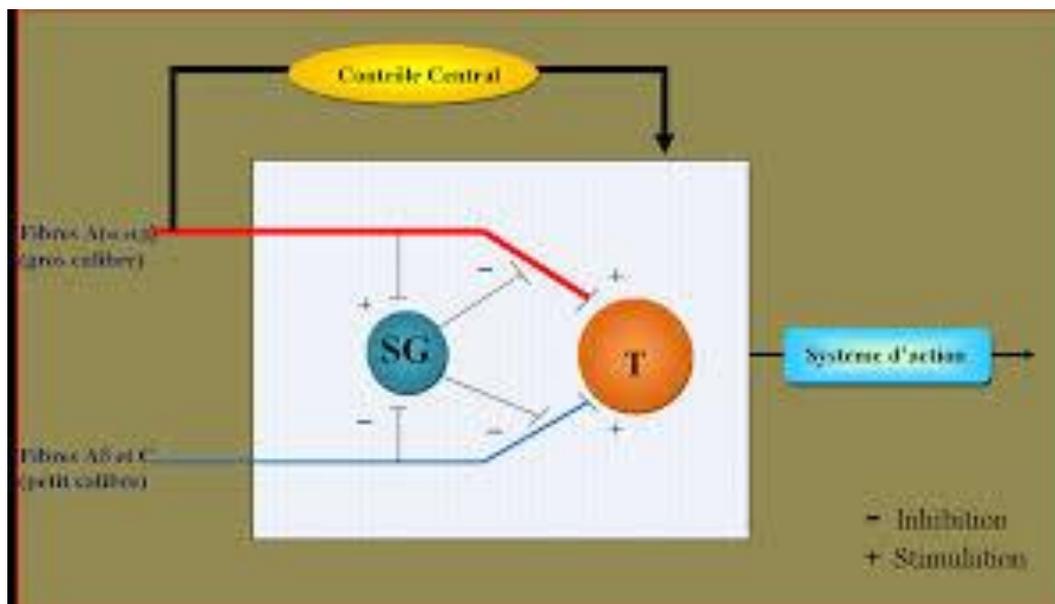
Wolfe, Frederick, & Kong, S. X. (1999). Rasch analysis of the Western Ontario MacMaster Questionnaire (WOMAC) in 2205 patients with osteoarthritis, rheumatoid arthritis, and fibromyalgia. *Annals of the Rheumatic Diseases, 58*(9), 563–568.

doi:10.1136/ard.58.9.563

Zainuddin, Z., Newton, M., Sacco, P., & Nosaka, K. (2005). Effects of Massage on Delayed-Onset Muscle Soreness, Swelling, and Recovery of Muscle Function. *Journal of Athletic Training, 40*(3), 174–180.

IX. Annexes

Annexe 1 : Schéma « Gate-control »



Annexe 2 : Le questionnaire WOMAC

Voir PDF

Annexe 3 : Les échelles numériques

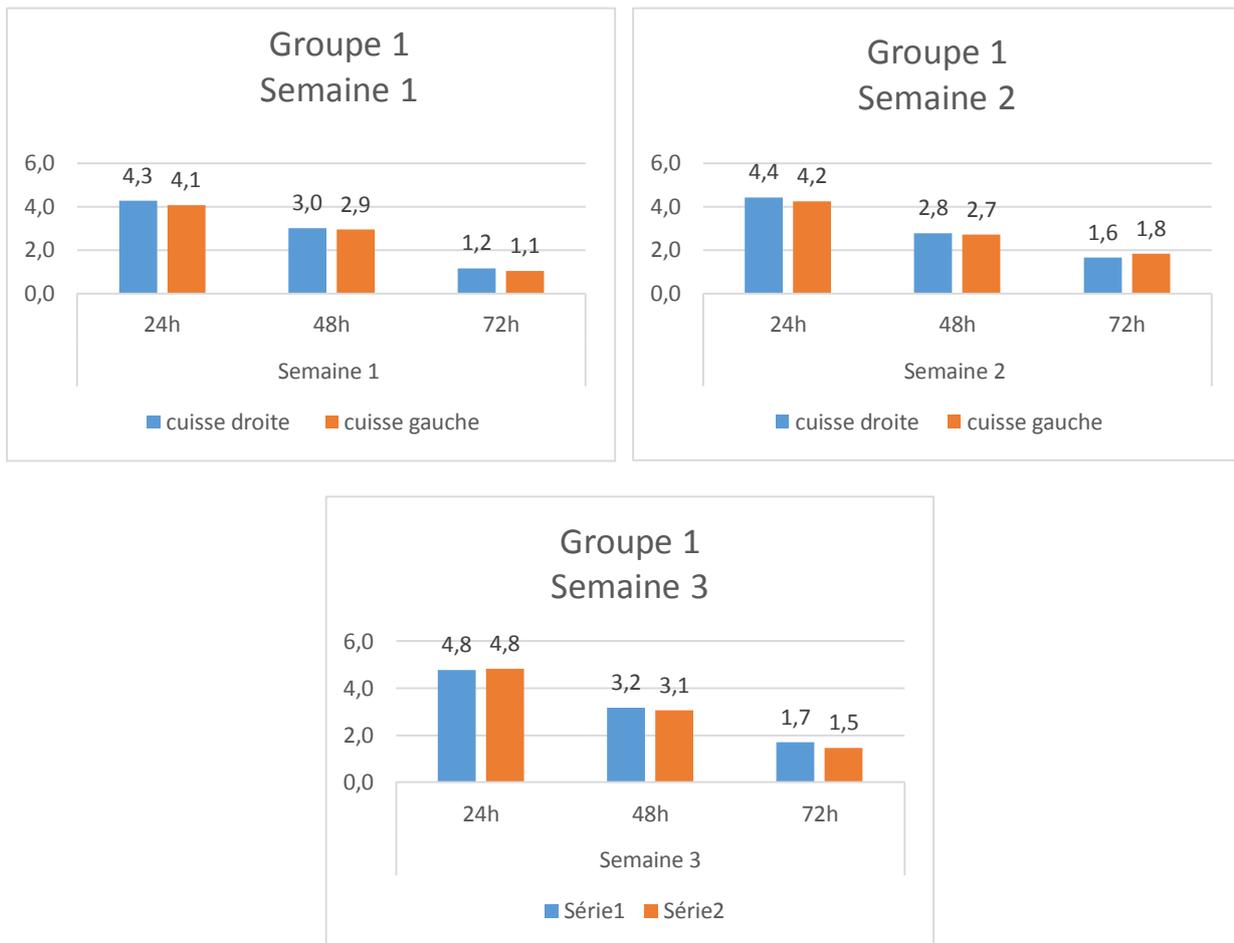
Voir PDF

Annexe 4 : Résultats de l'étude

WOMAC :

Le questionnaire WOMAC nous donne les résultats suivant :

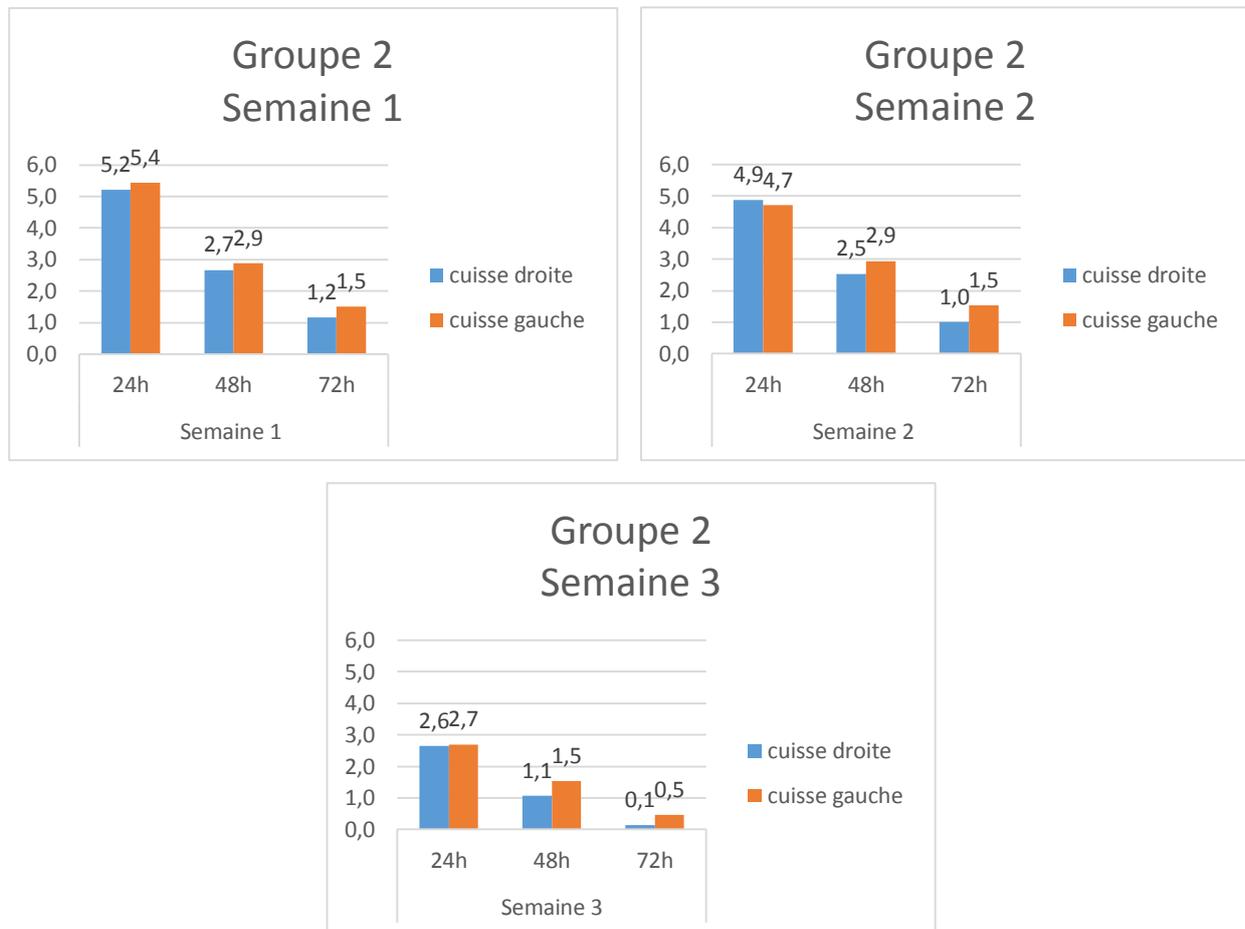
- Groupe 1 :



Le groupe 1 nous donne des valeurs très peu différentes concernant la cuisse droite et la cuisse gauche quel que soit la durée et la semaine :

- Semaine 1 : A 24h, cuisse droite, $4,3 \pm 3,0$; cuisse gauche, $4,1 \pm 3,0$. A 48h, cuisse droite, $3,0 \pm 3,3$; cuisse gauche, $2,9 \pm 3,4$. A 72h, cuisse droite, $1,2 \pm 2,1$; cuisse gauche, $1,1 \pm 2,1$.
- Semaine 2 : A 24h, cuisse droite, $4,4 \pm 3,4$; cuisse gauche, $4,2 \pm 3,5$. A 48h, cuisse droite, $2,8 \pm 3,0$; cuisse gauche, $2,7 \pm 3,0$. A 72h, cuisse droite, $1,6 \pm 2,8$; cuisse gauche, $1,8 \pm 3,1$.
- Semaine 3 : A 24h, cuisse droite, $4,8 \pm 4,2$; cuisse gauche, $4,8 \pm 4,2$. A 48h, cuisse droite, $3,2 \pm 3,6$; cuisse gauche, $3,1 \pm 3,5$. A 72h, cuisse droite, $1,7 \pm 2,9$; cuisse gauche, $1,5 \pm 2,9$.

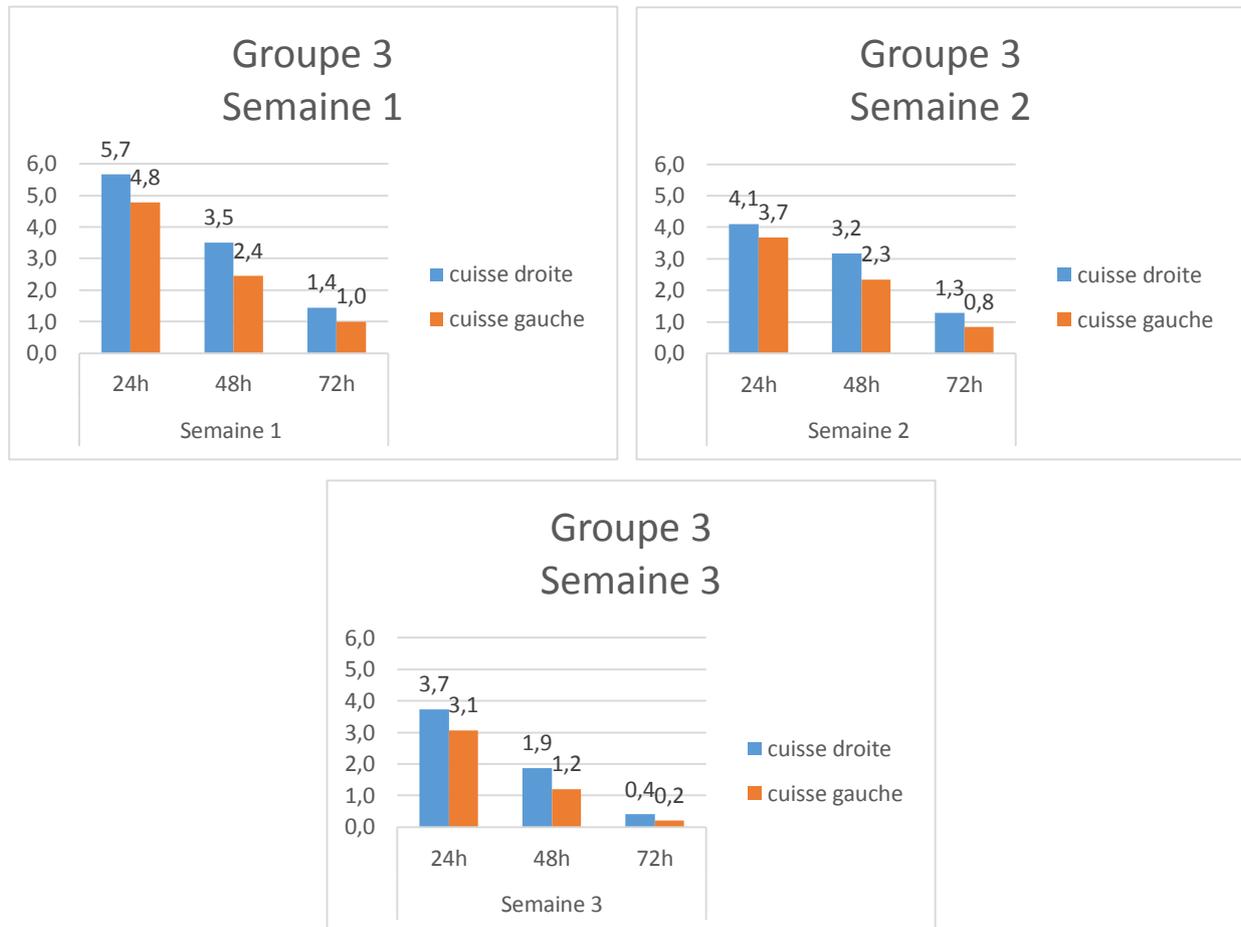
- Groupe 2 :



D'après les résultats du WOMAC, le groupe 2 nous montre des résultats différents sur la cuisse gauche et sur la cuisse droite :

- Semaine 1 : A 24h, cuisse droite, $5,2 \pm 3,8$; cuisse gauche, $5,4 \pm 3,7$. A 48h, cuisse droite, $2,7 \pm 2,4$; cuisse gauche, $2,9 \pm 2,9$. A 72h, cuisse droite, $1,2 \pm 2,0$; cuisse gauche, $1,5 \pm 2,4$.
- Semaine 2 : A 24h, cuisse droite, $4,9 \pm 4,5$; cuisse gauche, $4,9 \pm 3,9$. A 48h, cuisse droite, $2,5 \pm 4,4$; cuisse gauche, $2,9 \pm 4,0$. A 72h, cuisse droite, $1,0 \pm 1,9$; cuisse gauche, $1,5 \pm 3,2$.
- Semaine 3 : A 24h, cuisse droite, $2,6 \pm 2,2$; cuisse gauche, $2,7 \pm 2,3$. A 48h, cuisse droite, $1,1 \pm 1,1$; cuisse gauche, $1,5 \pm 1,7$. A 72h, cuisse droite, $0,1 \pm 0,5$; cuisse gauche, $0,5 \pm 1,2$.

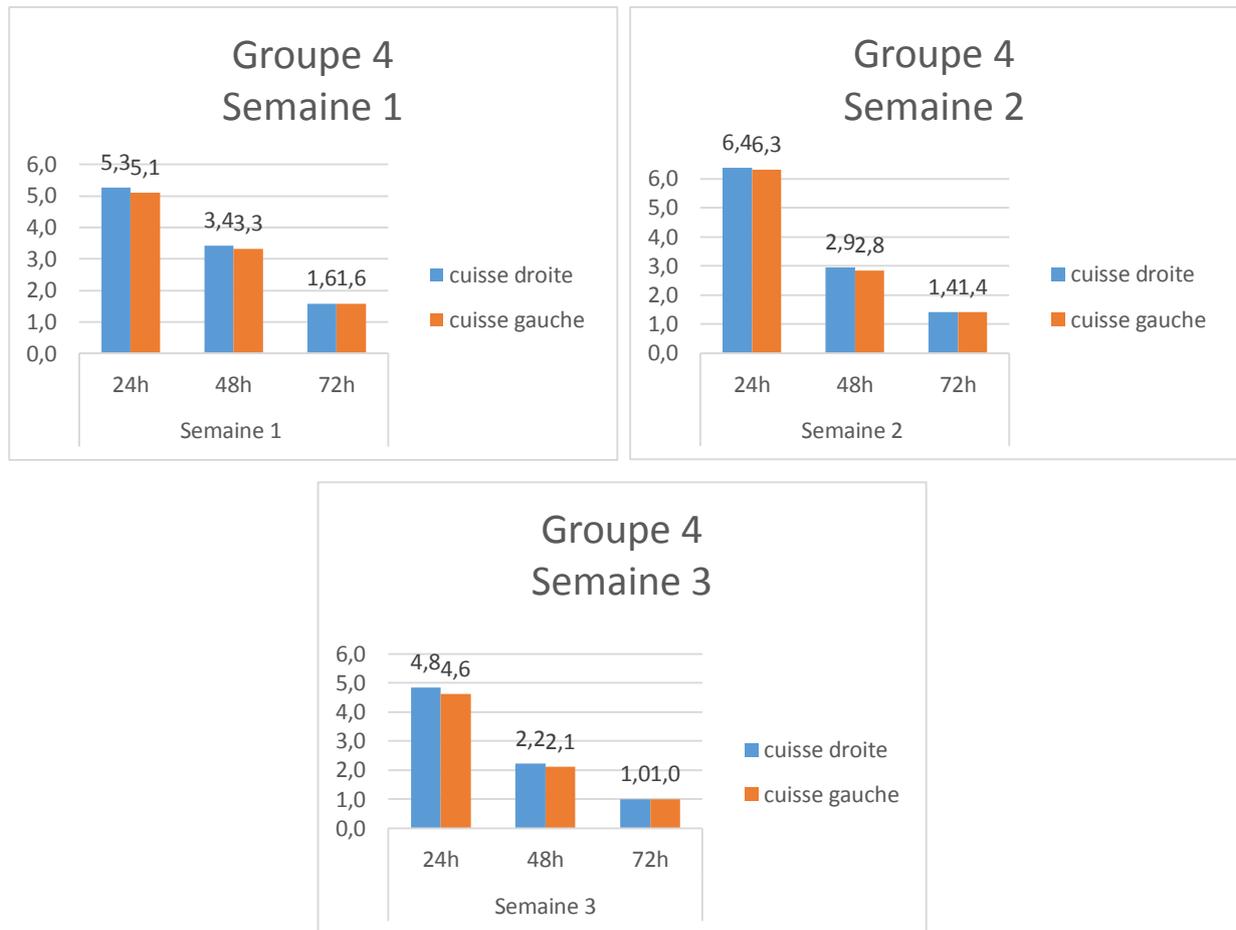
- Groupe 3 :



De même que pour les résultats du groupe 2, les valeurs du questionnaire WOMAC sont différentes concernant la cuisse droite et la cuisse gauche :

- Semaine 1 : A 24h, cuisse droite, $5,7 \pm 3,7$; cuisse gauche, $4,8 \pm 3,4$. A 48h, cuisse droite, $3,5 \pm 2,5$; cuisse gauche, $2,4 \pm 2,3$. A 72h, cuisse droite, $1,4 \pm 1,8$; cuisse gauche, $1,0 \pm 1,5$.
- Semaine 2 : A 24h, cuisse droite, $4,1 \pm 2,8$; cuisse gauche, $3,7 \pm 2,8$. A 48h, cuisse droite, $3,2 \pm 2,7$; cuisse gauche, $2,3 \pm 3,0$. A 72h, cuisse droite, $1,3 \pm 2,0$; cuisse gauche, $0,8 \pm 2,1$.
- Semaine 3 : A 24h, cuisse droite, $3,6 \pm 3,1$; cuisse gauche, $3,1 \pm 2,5$. A 48h, cuisse droite, $1,9 \pm 1,9$; cuisse gauche, $1,2 \pm 1,6$. A 72h, cuisse droite, $0,4 \pm 0,8$; cuisse gauche, $0,2 \pm 0,8$.

- Groupe 4



Pour finir, le groupe 4 nous donne des valeurs peu différentes en ce qui concerne la cuisse droite et gauche mais de façon plus élevées que le groupe 1 :

- Semaine 1 : A 24h, cuisse droite, $5,3 \pm 4,7$; cuisse gauche, $5,1 \pm 4,7$. A 48h, cuisse droite, $3,4 \pm 4,5$; cuisse gauche, $3,3 \pm 4,5$. A 72h, cuisse droite, $1,6 \pm 2,7$; cuisse gauche, $1,6 \pm 2,7$.
- Semaine 2 : A 24h, cuisse droite, $6,4 \pm 4,1$; cuisse gauche, $6,3 \pm 4,1$. A 48h, cuisse droite, $2,9 \pm 3,2$; cuisse gauche, $2,8 \pm 3,2$. A 72h, cuisse droite, $1,4 \pm 2,3$; cuisse gauche, $1,4 \pm 2,3$.
- Semaine 3 : A 24h, cuisse droite, $4,8 \pm 3,9$; cuisse gauche, $4,6 \pm 3,6$. A 48h, cuisse droite, $2,2 \pm 2,2$; cuisse gauche, $2,1 \pm 2,2$. A 72h, cuisse droite, $1,0 \pm 1,6$; cuisse gauche, $1,0 \pm 1,6$.

Le tableau ci-après permet de récapituler tous les résultats du questionnaire WOMAC.

Tableau 1. Résultats du questionnaire WOMAC

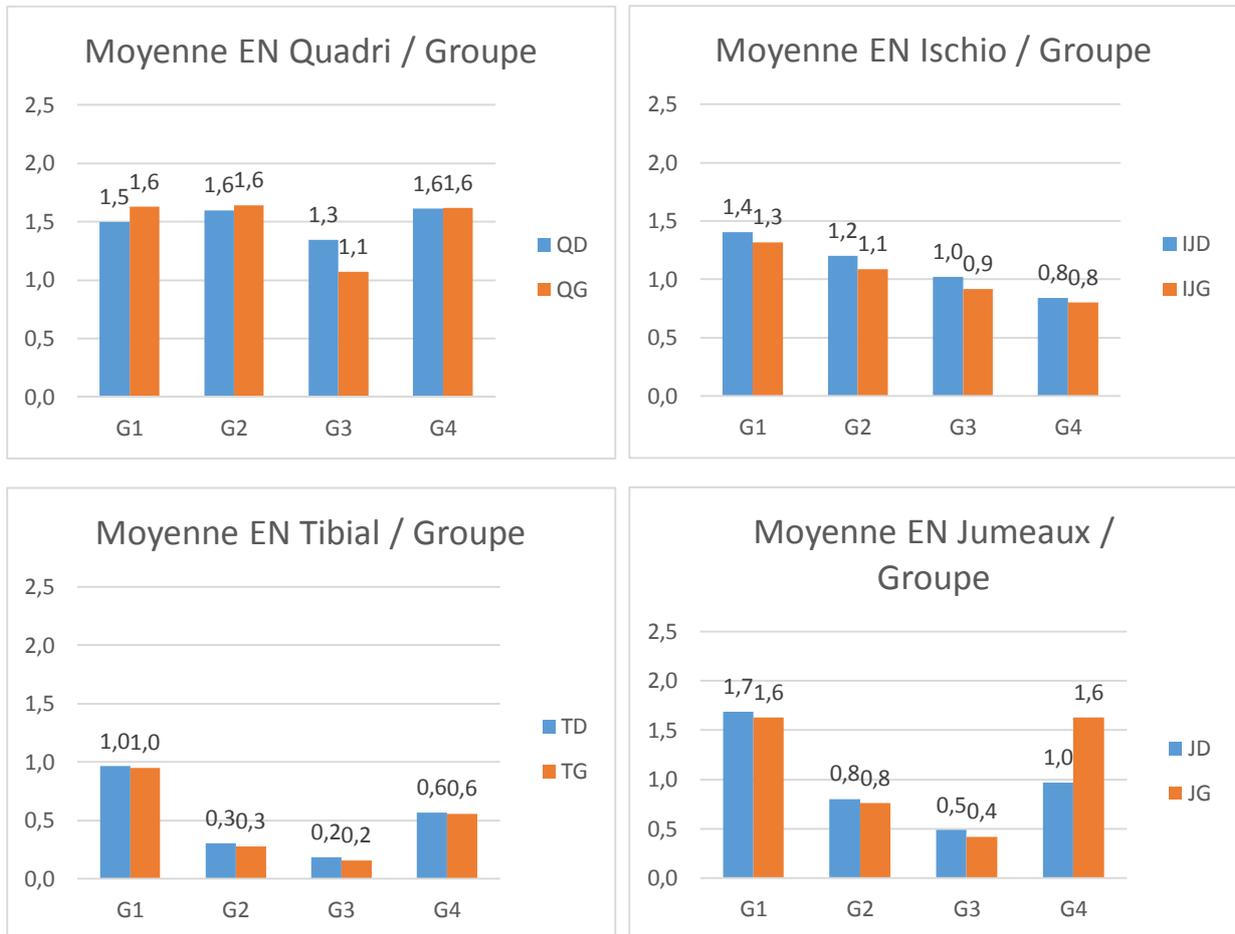
S.S. : Sans Sudoloris ; S.Q.S : Sudoloris sur Quadriceps Droit ; S.Q.G. : Sudoloris sur Quadriceps Gauche ;
S.Q.D.G. : Sudoloris sur Quadriceps Droit et Gauche.

Moy : moyenne ; SD : Ecart-t-type

		Cuisse Droite									Cuisse Gauche								
		Semaine 1			Semaine 2			Semaine 3			Semaine 1			Semaine 2			Semaine 3		
		24H	48H	72H	24H	48H	72H	24H	48H	72H	24H	48H	72H	24H	48H	72H	24H	48H	72H
G1 S.S.	Moy	4,3	3,0	1,2	4,4	2,8	1,6	4,8	3,2	1,7	4,1	2,9	1,1	4,2	2,7	1,8	4,8	3,1	1,5
	SD : ±	3,0	3,3	2,1	3,4	3,0	2,8	4,2	3,6	2,9	3,0	3,4	2,1	3,5	3,0	3,1	4,2	3,5	2,9
G2 S.Q.D.	Moy	5,2	2,7	1,2	4,9	2,5	1,0	2,6	1,1	0,1	5,4	2,9	1,5	4,7	2,9	1,5	2,7	1,5	0,5
	SD : ±	3,8	3,4	2,0	4,5	4,4	1,9	2,2	1,1	0,5	3,7	2,9	2,4	3,9	4,0	3,2	2,3	1,7	1,2
G3 S.Q.G.	Moy	5,7	3,5	1,4	4,1	3,2	1,3	3,6	1,9	0,4	4,8	2,4	1,0	3,7	2,3	0,8	3,1	1,2	0,2
	SD : ±	3,7	2,5	1,8	2,8	2,7	2,2	3,1	1,9	0,8	3,4	2,3	1,5	2,8	3,0	2,1	2,5	1,6	0,8
G4 S.Q.D.G.	Moy	5,3	3,4	1,6	6,4	2,9	1,4	4,8	2,2	1,0	5,1	3,3	1,6	6,3	2,8	1,4	4,6	2,1	1,0
	SD : ±	4,7	4,5	2,7	4,1	3,2	2,3	3,9	2,2	1,6	4,7	4,5	2,7	4,1	3,2	2,3	3,6	2,2	1,6

Echelles Numériques :

Concernant les échelles numériques, les valeurs nous sont données par muscles suivant les différents groupes.



Valeurs des muscles quadriceps :

- Groupe 1 : A 24h, cuisse droite, $2,20 \pm 0,19$; cuisse gauche, $2,20 \pm 0,15$. A 48h, cuisse droite, $1,64 \pm 0,21$; cuisse gauche, $1,58 \pm 0,23$. A 72h, cuisse droite, $0,66 \pm 0,04$; cuisse gauche, $0,70 \pm 0,10$.
- Groupe 2 : A 24h, cuisse droite, $2,57 \pm 0,76$; cuisse gauche, $2,57 \pm 0,76$. A 48h, cuisse droite, $1,45 \pm 0,47$; cuisse gauche, $1,52 \pm 0,39$. A 72h, cuisse droite, $0,77 \pm 0,36$; cuisse gauche, $0,83 \pm 0,35$.
- Groupe 3 : A 24h, cuisse droite, $2,04 \pm 0,59$; cuisse gauche, $1,80 \pm 0,44$. A 48h, cuisse droite, $1,42 \pm 0,60$; cuisse gauche, $1,03 \pm 0,38$. A 72h, cuisse droite, $0,59 \pm 0,40$; cuisse gauche, $0,37 \pm 0,28$.
- Groupe 4 : A 24h, cuisse droite, $2,78 \pm 0,39$; cuisse gauche, $2,78 \pm 0,39$. A 48h, cuisse droite, $1,55 \pm 0,27$; cuisse gauche, $1,56 \pm 0,29$. A 72h, cuisse droite, $0,51 \pm 0,09$; cuisse gauche, $0,51 \pm 0,09$.

En ce qui concerne les muscles ischio-jambiers, nous retrouvons les valeurs suivantes :

- Groupe 1 : A 24h, ischio droit, $1,94 \pm 0,06$; ischio gauche, $1,90 \pm 0,07$. A 48h, ischio droit, $1,50 \pm 0,09$; ischio gauche, $1,36 \pm 0,11$. A 72h, ischio droit, $0,78 \pm 0,09$; ischio gauche, $0,70 \pm 0,11$.
- Groupe 2 : A 24h, ischio droit, $1,84 \pm 0,98$; ischio gauche, $1,58 \pm 0,88$. A 48h, ischio droit, $1,14 \pm 0,76$; ischio gauche, $1,02 \pm 0,53$. A 72h, ischio droit, $0,64 \pm 0,43$; ischio gauche, $0,67 \pm 0,49$.
- Groupe 3 : A 24h, ischio droit, $1,61 \pm 0,47$; ischio gauche, $1,45 \pm 0,45$. A 48h, ischio droit, $1,02 \pm 0,29$; ischio gauche, $0,92 \pm 0,33$. A 72h, ischio droit, $0,44 \pm 0,32$; ischio gauche, $0,40 \pm 0,32$.
- Groupe 4 : A 24h, ischio droit, $1,59 \pm 0,35$; ischio gauche, $1,53 \pm 0,41$. A 48h, ischio droit, $0,77 \pm 0,25$; ischio gauche, $0,71 \pm 0,30$. A 72h, ischio droit, $0,16 \pm 0,09$; ischio gauche, $0,16 \pm 0,09$.

Les résultats des échelles concernant les muscles tibiaux antérieurs :

- Groupe 1 : A 24h, tibial droit, $1,24 \pm 0,30$; tibial gauche, $1,20 \pm 0,20$. A 48h, tibial droit, $1,10 \pm 0,21$; tibial gauche, $1,10 \pm 0,21$. A 72h, tibial droit, $0,56 \pm 0,08$; tibial gauche, $0,56 \pm 0,05$.
- Groupe 2 : A 24h, tibial droit, $0,53 \pm 0,34$; tibial gauche, $0,49 \pm 0,31$. A 48h, tibial droit, $0,26 \pm 0,18$; tibial gauche, $0,24 \pm 0,20$. A 72h, tibial droit, $0,12 \pm 0,16$; tibia gauche, $0,10 \pm 0,12$.
- Groupe 3 : A 24h, tibial droit, $0,26 \pm 0,20$; tibial gauche, $0,18 \pm 0,20$. A 48h, tibial droit, $0,18 \pm 0,18$; tibial gauche, $0,14 \pm 0,15$. A 72h, tibial droit, $0,12 \pm 0,16$; tibial gauche, $0,16 \pm 0,14$.
- Groupe 4 : A 24h, tibial droit $0,92 \pm 0,33$; tibial gauche, $0,90 \pm 0,40$. A 48h, tibial droit, $0,58 \pm 0,26$; tibial gauche, $0,58 \pm 0,26$. A 72h, tibial droit, $0,20 \pm 0,15$; tibial gauche, $0,20 \pm 0,10$.

Pour finir, nous observons les résultats des muscles jumeaux :

- Groupe 1 : A 24h, jumeau droit, $2,33 \pm 0,54$; jumeau gauche, $2,29 \pm 0,51$. A 48h, jumeau droit, $1,81 \pm 0,63$; jumeau gauche, $1,75 \pm 0,63$. A 72h, jumeau droit, $0,92 \pm 0,27$; jumeau gauche, $0,84 \pm 0,30$.
- Groupe 2 : A 24h, jumeau droit, $1,28 \pm 0,61$; jumeau gauche, $1,22 \pm 0,50$. A 48h, jumeau droit, $0,74 \pm 0,40$; jumeau gauche, $0,73 \pm 0,33$. A 72h, jumeau droit, $0,39 \pm 0,22$; jumeau gauche, $0,33 \pm 0,17$.
- Groupe 3 : A 24h, jumeau droit, $0,77 \pm 0,44$; jumeau gauche, $0,78 \pm 0,29$. A 48h, jumeau droit, $0,40 \pm 0,42$; jumeau gauche, $0,36 \pm 0,30$. A 72h, jumeau droit, $0,29 \pm 0,27$; jumeau gauche, $0,12 \pm 0,20$.
- Groupe 4 : A 24h, jumeau droit $1,62 \pm 0,57$; jumeau gauche, $1,57 \pm 0,63$. A 48h, jumeau droit, $0,94 \pm 0,58$; jumeau gauche, $0,96 \pm 0,63$. A 72h, jumeau droit, $0,34 \pm 0,25$; jumeau gauche, $1,04 \pm 1,35$.

Dans le tableau suivant, nous pouvons retrouver tous les résultats des échelles numériques lors de l'étude.

Tableau 2. Résultats des échelles numériques

S.S. : Sans Sudoloris ; S.Q.S : Sudoloris sur Quadriceps Droit ; S.Q.G. : Sudoloris sur Quadriceps Gauche ; S.Q.D.G : Sudoloris sur Quadriceps Droit et Gauche.

Moy : moyenne ; SD : Ecart-type

	A 24H							A 48H							A 72H										
	QD	QG	IJD	IJG	TD	TG	JD	JG	QD	QG	IJD	IJG	TD	TG	JD	JG	QD	QG	IJD	IJG	TD	TG	JD	JG	
G1 S.S.	Moy	2,20	2,20	1,94	1,90	1,24	1,20	2,33	2,29	1,64	1,58	1,50	1,36	1,10	1,10	1,81	1,75	0,66	0,70	0,78	0,70	0,56	0,56	0,92	0,84
	SD : ±	0,19	0,15	0,06	0,07	0,30	0,29	0,54	0,51	0,21	0,23	0,09	0,11	0,21	0,21	0,63	0,63	0,04	0,10	0,09	0,11	0,08	0,05	0,27	0,30
G2 S.Q.D.	Moy	2,57	2,57	1,84	1,58	0,53	0,49	1,28	1,22	1,45	1,52	1,14	1,02	0,26	0,24	0,74	0,73	0,77	0,83	0,64	0,67	0,12	0,10	0,39	0,33
	SD : ±	0,76	0,76	0,98	0,88	0,34	0,31	0,61	0,50	0,47	0,39	0,76	0,53	0,18	0,20	0,40	0,33	0,36	0,35	0,43	0,49	0,16	0,12	0,22	0,17
G3 S.Q.G.	Moy	2,04	1,80	1,61	1,45	0,26	0,18	0,77	0,78	1,42	1,03	1,02	0,92	0,18	0,14	0,40	0,36	0,59	0,37	0,44	0,40	0,12	0,16	0,29	0,12
	SD : ±	0,59	0,44	0,47	0,45	0,20	0,20	0,44	0,29	0,60	0,38	0,29	0,33	0,18	0,15	0,42	0,30	0,40	0,28	0,32	0,32	0,16	0,14	0,27	0,20
G4 S.Q.D.G.	Moy	2,78	2,78	1,59	1,53	0,92	0,90	1,62	1,57	1,55	1,56	0,77	0,71	0,58	0,58	0,94	0,96	0,51	0,51	0,16	0,16	0,20	0,20	0,34	1,04
	SD : ±	0,39	0,39	0,35	0,41	0,33	0,40	0,57	0,63	0,27	0,29	0,25	0,30	0,26	0,26	0,58	0,63	0,09	0,09	0,09	0,09	0,15	0,10	0,25	1,35