VETAGRO SUP
CAMPUS VETERINAIRE DE LYON

Année 2016 - Thèse n° 042

IMPACT DE L'APPLICATION DE MICRO-COURANTS SUR LA SENSIBILITE DORSALE CHEZ LE CHEVAL : EVALUATION PAR ALGOMETRIE

THESE

Présentée à l'UNIVERSITE CLAUDE-BERNARD - LYON I
(Médecine - Pharmacie)
et soutenue publiquement le 7 Octobre 2016
pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire

par

NUELLAS Sandy
Née le 4 mai 1990
à *Vélizy-Villacoublay (78)*

VETAGRO SUP
CAMPUS VETERINAIRE DE LYON

Année 2016 - Thèse n° 042

IMPACT DE L'APPLICATION DE MICRO-COURANTS SUR LA SENSIBILITE DORSALE CHEZ LE CHEVAL : EVALUATION PAR ALGOMETRIE

THESE

Présentée à l'UNIVERSITE CLAUDE-BERNARD - LYON I
(Médecine - Pharmacie)
et soutenue publiquement le 7 Octobre 2016
pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire

par

NUELLAS Sandy
Née le 4 mai 1990
à *Vélizy-Villacoublay (78)*

LISTE DES ENSEIGNANTS DU CAMPUS VÉTÉRINAIRE DE LYON

Mise à jour le 09 juin 2015

Civilité	Nom	Prénom	Unités pédagogiques	Grade
M.	ALOGNINOUWA	Théodore	UP Pathologie du bétail	Professeur
M.	ALVES-DE-OLIVEIRA	Laurent	UP Gestion des élevages	Maître de conférences
Mme	ARCANGIOLI	Marie-Anne	UP Pathologie du bétail	Maître de conférences
M.	ARTOIS	Marc	UP Santé Publique et Vétérinaire	Professeur
M.	BARTHELEMY	Anthony	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Maître de conférences Contractuel
Mme	BECKER	Claire	UP Pathologie du bétail	Maître de conférences
Mme	BELLUCO	Sara	UP Pathologie morphologique et clinique des animaux de compagnie	Maître de conférences
Mme	BENAMOU-SMITH	Agnès	UP Equine	Maître de conférences
M.	BENOIT	Etienne	UP Biologie fonctionnelle	Professeur
M.	BERNY	Philippe	UP Biologie fonctionnelle	Professeur
Mme	BERTHELET	Marie-Anne	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Maître de conférences
Mme	BONNET-GARIN	Jeanne-Marie	UP Biologie fonctionnelle	Professeur
Mme	BOULOCHER	Caroline	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Maître de conférences
M.	BOURDOISEAU	Gilles	UP Santé Publique et Vétérinaire	Professeur
M.	BOURGOIN	Gilles	UP Santé Publique et Vétérinaire	Maître de conférences
M.	BRUYERE	Pierre	UP Biotechnologies et pathologie de la reproduction	Maître de conférences
M.	BUFF	Samuel	UP Biotechnologies et pathologie de la reproduction	Maître de conférences
M.	BURONFOSSE	Thierry	UP Biologie fonctionnelle	Professeur
M.	CACHON	Thibaut	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Maître de conférences
M.	CADORE	Jean-Luc	UP Pathologie médicale des animaux de compagnie	Professeur
Mme	CALLAIT-CARDINAL	Marie-Pierre	UP Santé Publique et Vétérinaire	Maître de conférences
M.	CAROZZO	Claude	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Maître de conférences
M.	CHABANNE	Luc	UP Pathologie médicale des animaux de compagnie	Professeur
Mme	CHALVET-MONFRAY	Karine	UP Biologie fonctionnelle	Professeur
M.	COMMUN	Loic	UP Gestion des élevages	Maître de conférences
Mme	DE BOYER DES ROCHES	Alice	UP Gestion des élevages	Maître de conférences
Mme	DELIGNETTE-MULLER	Marie-Laure	UP Biologie fonctionnelle	Professeur
M.	DEMONT	Pierre	UP Santé Publique et Vétérinaire	Professeur
Mme	DESJARDINS PESSON	Isabelle	UP Equine	Maître de conférences Contractuel
Mme	DJELOUADJI	Zorée	UP Santé Publique et Vétérinaire	Maître de conférences
Mme	ESCRIOU	Catherine	UP Pathologie médicale des animaux de compagnie	Maître de conférences
M.	FAU	Didier	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Professeur
Mme	FOURNEL	Corinne	UP Pathologie morphologique et clinique des animaux de compagnie	Professeur
M.	FREYBURGER	Ludovic	UP Santé Publique et Vétérinaire	Maître de conférences
M.	FRIKHA	Mohamed-Ridha	UP Pathologie du bétail	Maître de conférences
Mme	GILOT-FROMONT	Emmanuelle	UP Santé Publique et Vétérinaire	Professeur
M.	GONTHIER	Alain	UP Santé Publique et Vétérinaire	Maître de conférences
Mme	GRAIN	Françoise	UP Gestion des élevages	Professeur
M.	GRANCHER	Denis	UP Gestion des élevages	Maître de conférences
Mme	GREZEL	Delphine	UP Santé Publique et Vétérinaire	Maître de conférences
M.	GUERIN	Pierre	UP Biotechnologies et pathologie de la reproduction	Professeur
Mme	HUGONNARD	Marine	UP Pathologie médicale des animaux de compagnie	Maître de conférences
M.	JUNOT	Stéphane	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Maître de conférences
M.	KECK	Gérard	UP Biologie fonctionnelle	Professeur
M.	KODJO	Angeli	UP Santé Publique et Vétérinaire	Professeur
Mme	LAABERKI	Maria-Halima	UP Santé Publique et Vétérinaire	Maître de conférences
M.	LACHERETZ	Antoine	UP Santé Publique et Vétérinaire	Professeur
Mme	LAMBERT	Véronique	UP Gestion des élevages	Maître de conférences
Mme	LATTARD	Virginie	UP Biologie fonctionnelle	Maître de conférences
Mme	LE GRAND	Dominique	UP Pathologie du bétail	Professeur
Mme	LEBLOND	Agnès	UP Santé Publique et Vétérinaire	Professeur
Mme	LEFRANC-POHL	Anne-Cécile	UP Equine	Maître de conférences
M.	LEPAGE	Olivier	UP Equine	Professeur
Mme	LOUZIER	Vanessa	UP Biologie fonctionnelle	Maître de conférences
M.	MARCHAL	Thierry	UP Pathologie morphologique et clinique des animaux de compagnie	Professeur
M.	MOUNIER	Luc	UP Gestion des élevages	Maître de conférences
M.	PEPIN	Michel	UP Santé Publique et Vétérinaire	Professeur
M.	PIN	Didier	UP Pathologie morphologique et clinique des animaux de compagnie	Maître de conférences
Mme	PONCE	Frédérique	UP Pathologie médicale des animaux de compagnie	Maître de conférences
Mme	PORTIER	Karine	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Maître de conférences
Mme	POUZOT-NEVORET	Céline	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Maître de conférences
Mme	PROUILLAC	Caroline	UP Biologie fonctionnelle	Maître de conférences
Mme	REMY	Denise	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Professeur
Mme	RENE MARTELLET	Magalie	UP Santé Publique et Vétérinaire	Maître de conférences stagiaire
M.	ROGER	Thierry	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Professeur
M.	SABATIER	Philippe	UP Biologie fonctionnelle	Professeur
M.	SAWAYA	Serge	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Maître de conférences
M.	SCHRAMME	Serge	UP Equine	Professeur associé
Mme	SEGARD	Emilie	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Maître de conférences Contractuel
Mme	SERGENTET	Delphine	UP Santé Publique et Vétérinaire	Maître de conférences
Mme	SONET	Juliette	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Maître de conférences Contractuel
M.	THIEBAULT	Jean-Jacques	UP Biologie fonctionnelle	Maître de conférences
M.	TORTEREAU	Antonin	UP Pathologie morphologique et clinique des animaux de compagnie	Maître de conférences stagiaire
M.	VIGUIER	Eric	UP Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Professeur
Mme	VIRIEUX-WATRELOT	Dorothée	UP Pathologie morphologique et clinique des animaux de compagnie	Maître de conférences Contractuel
M.	ZENNER	Lionel	UP Santé Publique et Vétérinaire	Professeur

REMERCIEMENTS

A Madame le Professeur Elvire SERVIEN,
De la faculté de médecine de Lyon,
Qui nous a fait l'honneur d'être la présidente de notre jury de thèse,
Hommages respectueux.

A Monsieur le Docteur Serge SAWAYA,
De VetagroSup campus vétérinaire de Lyon,
Qui a encadré ce travail, pour ses conseils et,
Sa grande implication tout au long de la réalisation de ce travail,
Ma plus profonde reconnaissance.

A Monsieur le Professeur Jean-Luc CADORE,
De VetagroSup campus vétérinaire de Lyon,
Qui nous fait l'honneur de prendre place à la table du jury,
Mes remerciements les plus sincères.

A Monsieur Bruno GARCIA,
De la société Atlantis Médical,
Qui nous a fourni le matériel et qui nous a fait confiance,
Merci.

Au Professeur Marie-Laure DELIGNETTE-MULLER,
Pour son aide dans les analyses statistiques,
Merci.

A tous les propriétaires de chevaux,
Qui m'ont permis de réaliser les essais cliniques sur leur fidèle compagnon,
Toute ma gratitude.

A ma mère,
Pour ton soutien sans faille, pour ta force et ton réconfort,
Pour tout ce qui fait de moi ce que je suis aujourd'hui.

A mon père,
Pour ton soutien et à ta capacité à pouvoir être dur quand il le faut.

A mes sœurs,
Pour tous ces moments de joie et de pleur,
Pour tout l'amour et l'admiration que vous avez pour moi,
Pour tout ce qu'on va continuer à vivre.

A Cédric,
Pour tout l'amour et ce bonheur passé à tes côtés.

A Gaël, Julien, Fanny,
Sans qui la prépa n'aurait pas été une partie de plaisir,
Merci pour votre soutien.

A Fanny, Marion, Pauline, Eva, et tous mes autres amis lyonnais,
Sans qui mes années d'école auraient été tristes et ennuyeuses, merci pour tous nos fous rires,
nos soirées, nos repas,...,
Juste un énorme merci.

« Tout le monde a droit au bonheur,
Mais personne n'a le droit de détruire celui des autres.
Le but de l'existence humaine ne peut être en aucun cas de faire souffrir qui que ce soit. »
Dalaï Lama

TABLE DES MATIERES

TABLE DES FIGURES 13

TABLE DES TABLEAUX 17

LISTE DES ABREVIATIONS 19

INTRODUCTION 21

Chapitre 1 : L'ELECTROSTIMULATION ET LES MICRO-COURANTS.....23

Historique de l'électrothérapie 23

I. Principe de base de l'électrothérapie/électrostimulation 24

A. Définition, caractéristiques et paramètres d'un courant d'électrostimulation.....24

B. Forme de l'impulsion électrique 25

C. La fréquence de stimulation 26

D. Intensité et durée d'impulsion.....28

II. Les micro-courants.....30

A. Particularités des micro-courants 30

B. Domaines d'application des micro-courants 32

1. Cicatrisation 32

2. Traitement de la douleur et de l'inflammation.....35

3. Stimulation électrique crâniale (CES): traitement de l'anxiété, de la dépression, des troubles du sommeil 38

C. Mécanisme d'action des micro-courants 40

1. Action sur la douleur.....41

2. Cicatrisation 42

3. Action de l'électrostimulation crânienne (CES) sur les troubles psychiques.....43

III. Effets indésirables, indications et contre-indications des micro-courants.....44

A. Effets indésirables des micro-courants 44

B. Indications de la thérapie aux micro-courants 44

C. Contre-indications à l'utilisation des micro-courants 44

IV. Utilisation pratique des micro-courants en physiothérapie vétérinaire 46

A. L'appareil 46

B. Les électrodes 47

C. Autres dispositifs d'application de micro-courants.....48

1. Electrodes équipées d'une batterie autonome.....48

2. Pansements générateurs de micro-courants (« bioélectriques).....49

D. Positionnement des électrodes 50

E. Application sur les points d'acupuncture et électro-acupuncture.....54

F. Choix des paramètres.....56

G. Durée et rythme des séances ; durée totale du traitement 57

Chapitre 2 : PARTIE EXPERIMENTALE. EVALUATION DES EFFETS D'UN PROTOCOLE DE THERAPIE PAR LES MICRO-COURANTS SUR LA SENSIBILITE DORSALE CHEZ LE CHEVAL.....58

I. Animaux, matériel et méthode.....58

A. Les chevaux.....58

B. Matériel et méthode 59

1. Le stimulateur et les électrodes 59

2. Disposition des électrodes.....60

3. Choix des paramètres.....61

4. Placebo.....62

C. Evaluation 63

1. Mesures algométriques 63

2. L'appareil de mesure 63

3. Mesure du seuil de réponse musculaire à la stimulation électrique (SRM) 65

4. Evaluation par le cavalier 67

5. Analyse statistique des résultats 68

D. Déroulement général du protocole de l'étude 69

II. Résultats 71

A. Examen palpatoire et définition des zones sensibles pour chaque cheval 71

B. Mesures algométriques 73

1. Evolution du SNM avant et après la première séance 73

2. Evolution des Moyennes globales des SNM 75

3. Représentation et comparaison de l'évolution du pattern général des SNM le long du pont vertébral 78

C. Mesures électrophysiologiques 87

1. Résultats des tests avant et juste après les séances de micro-courants ou placebo à J0 et à J2 87

2. Evolution du SRM sur toute la durée du test 89

D. Evaluation du cavalier 93

1. Confort général du cheval au travail avant les tests 93

2. Evaluation générale du cheval après le test 94

III. Discussion 97

A. Les chevaux 97

B. Le protocole d'électrothérapie 98

C. Les résultats 100

1. Mesures algométriques 100

2. Mesures électrophysiologiques 102

3. Examen palpatoire et évaluation des cavaliers 103

4. Comparaison avec d'autres études 104

D. Perspectives 104

CONCLUSION 107

BIBLIOGRAPHIE 109

ANNEXES 117

TABLE DES FIGURES

Figure 1: Impulsion du courant alternatif biphasique symétrique rectangulaire pour l'EMS (d'après Sawaya S., 2013) 26

Figure 2 : courbe I-t, rhéobase et chronaxie (Sawaya 2013a) 28

Figure 3 : Diagramme de Howson : Ordre de recrutement des différents types de fibres nerveuses en fonction de la durée d'impulsion. Pour les valeurs moyennes d'intensité utilisées en ESNM chez les mammifères, si on augmente la durée d'impulsion, les premières fibres recrutées sont les fibres sensitives (sensibilité tactile), puis les motoneurones (contraction musculaire) puis, pour des valeurs plus élevées de t, les fibres nociceptives (douleur) d'après (Sawaya, Combet, et Maellier 2010) 29

Figure 4 : Courant alternatif biphasique de très basse fréquence à moyenne nulle généré par l'appareil Alpha stim® M (Electromedical products International 2013).....31

Figure 5 : Diagramme des courbes i-t des différents types de fibres nerveuses. Pour des durées d'impulsion très longues mais une intensité de l'ordre du µA, la quantité d'énergie (q=i*t) fournie par les micro-courants reste bien en deçà de la stimulation des fibres nerveuses. D'après (Sawaya, Combet, et Maellier 2010) 40

Figure 6 : Appareil Alpha Stim M® (Epi, Mineral Wells, USA) à gauche et le Stim intelect Mobile Chattanooga (DJO, LLC, 1430 Decision street, Vista, CA 92081) avec des programmes préprogrammés.....46

Figure 7 : Electrodes "As-trode", "Ear-clip" avec un exemple d'application, "Smart-probe" respectivement (Electromedical Products International, Inc., s. d.) 48

Figure 8 : Dispositif d'électrodes et mini-batterie incorporée Painmaster® (Newmark, Connecticut, USA) 49

Figure 9 : Pansement bioélectrique Procellera® (Vomaris Wound care Inc. Tempe, Arizona, USA). (http://animalcare.procellera.com/) 50

Figure 10 : Placement des électrodes stylets pour le traitement des douleurs du genou selon (Kirsch 2006) 50

Figure 11 : Positions des électrodes-stylets pour le traitement d'une affection du membre thoracique, ici exemple du carpe d'après (Kirsch et Frick 2005).....51

Figure 12 : Positions des électrodes-stylets pour le traitement d'une douleur vertébrale d'après (Kirsch et Frick 2005).....52

Figure 13 : Positions des électrodes-stylets pour le traitement d'une douleur du grasset gauche d'après (Kirsch et Frick 2005). 52

Figure 14 : Placement recommandé des électrodes dans le traitement de douleur du genou chez l'homme.. (D'après (Kirsch et Frick 2005)) 53

Figure 15 : Traitement d'un jeune chat ayant subi une neurolyse chirurgicale du nerf sciatique par électro-acupuncture avec les micro-courants.....59
Figure 16 : Traitement d'incontinence fécale à l'aide d'électro-acupuncture avec des micro-courants chez une chatte ayant subie une hémilaminectomie L2L3 55

Figure 17 : Utilisation de l'acupuncture et de l'électro-acupuncture aux micro-courants dans le traitement d'un boxer souffrant d'un syndrome de la queue de cheval avec légère incontinence urinaire (en association avec des techniques de thérapies manuelles).(S.Sawaya).....55

Figure 18 : Alpha Stim® M (Epi, Mineral Wells, USA) (Nuellas S) 59

Figure 19 : Electrodes en élastomère au mètre, EKO-Gel® utilisés (Sawaya S).....60

Figure 20 : Dispositif d'électrothérapie en place (Nuellas S) 61

Figure 21 : Dolormeter® (Electo-Medical-System, Nyon, Suisse) (Sawaya S) 63

Figure 22 : Situation anatomique des points para-vertébraux testés (S Sawaya modifié d'après Molinier 2003) 64

Figure 23 : Mesure du Seuil Nociceptif Mécanique au moyen d'un algomètre à ressort (Nuellas S) 65

Figure 24 : Cefar rehab^2 Pro utilisé pour les mesures de SRM (Cefar Medical AB, Lund, Suède) (Nuellas S).....66

Figure 25 : Evolution comparée des Seuils Nociceptifs Mécaniques moyens des groupes traité et placebo. Les étoiles signifient une différence significative par rapport à J0 pour le groupe traité. 77

Figure 26 : Evolution de la moyenne des SNM pour le GrT.....78

Figure 27 : Evolution de la moyenne des SNM pour le GrP 79

Figure 28: Evolution des SNM le long du pont vertébral lors du traitement pour Nerys 80

Figure 29 : Evolution des SNM le long du pont vertébral lors du placebo pour Nerys.....81

Figure 30: Evolution des SNM le long du pont vertébral lors du traitement pour Jeanmat.....82

Figure 31: Evolution des SNM le long du pont vertébral lors du placebo pour Jeanmat 82

Figure 32 : Evolution des SNM le long du pont vertébral lors du traitement pour Via 83

Figure 33: Evolution des SNM le long du pont vertébral lors du placebo pour Via.....84

Figure 34 : Evolution des SNM le long du pont vertébral lors du traitement pour Roxy.....85

Figure 35: Evolution des SNM le long du pont vertébral lors du placebo pour Roxy 85

Figure 36: Evolution des SRM au cours du temps pour chaque cheval du groupe traité 90

Figure 37: Evolution des SRM au cours du temps pour chaque cheval du groupe placebo 90

Figure 38: Evolution de la moyenne des SRM des GrT et GrP.....91

TABLE DES TABLEAUX

Tableau I : Classification des courants selon état et direction modifiée d'après (Crépon et al. 2007) (Dumoulin J et Bisschop G 1980)(Schwaab 2014) 25

Tableau II : Fréquence de décharge des différents types de fibres.....27

Tableau III: Tableau récapitulatif et comparatif des paramètres des courants d'ESNM classiques et des micro-courants 31

Tableau IV : Indications et contre-indications de l'application de micro-courants. Adapté de (Kirsch 2016b) 45

Tableau V : Liste des chevaux faisant partie de l'étude 58

Tableau VI : Résumé du protocole de traitement aux micro-courants.....62

Tableau VII : Score de confort général de cheval au travail 67

Tableau VIII : Score d'amélioration/détérioration après les séances de micro-courants ou placebo 68

Tableau IX : Résumé de la trame du protocole d'électrothérapie 70

Tableau X: Résultats de l'examen palpatoire et position des électrodes pour le GrT 71

Tableau XI : Résultats de l'examen palpatoire et position des électrodes pour le GrP 72

Tableau XII: Moyenne des SNM avant et après la première séance à J0 - Groupe traité.....73

Tableau XIII : Moyenne des SNM avant et après la première séance à J0 - Groupe placebo 74

Tableau XIV : Moyennes globales des SNM - Groupe traité - Valeurs en kg/cm^2.....75

Tableau XV : Moyennes globales des SNM – Groupe placebo - Valeurs en kg/cm^2 76

Tableau XVI: Comparaison des SRM avant et après les séances de micro-courants à J0 et J2 du groupe traité.....87

Tableau XVII : Comparaison des SRM avant et après les séances placebo à J0 et J2 du groupe placebo 88

Tableau XVIII: Moyennes des SRM pour les GrT et GrP 91

Tableau XIX : Evaluation du confort général du cheval par les cavaliers avant traitement ou avant placebo.....93

Tableau XX : Evaluation par le cavalier après traitement aux micro-courants ou après traitement placebo.....94

LISTE DES ABREVIATIONS

ATP	Adénosine tri-phosphate
CCE	Concours Complet d'Equitation
CES	Stimulation Electrique Crânienne
Ch	Chronaxie
CIDN	Circuits Inhibiteurs Diffus Neuronaux
CK	Créatinine Kinase
Cm	Centimètre(s)
Cm²	Centimètre(s) carré
CSO	Concours de Saut d'Obstacle
EEG	Electroencéphalogramme
EMS	Electromyostimulation
ESNM	Electrostimulation Neuro-Musculaire
GrP	Groupe placebo
GrT	Groupe traité
h	Heure(s)
Hz	Hertz
I – I/t	Intensité – Intensité en fonction du temps
IC	Intervalle de confiance
IRM	Imagerie Résonance Magnétique
j-J	Jour(s)
kg	Kilogramme(s)
LCR	Liquide Céphalo-Rachidien
LDH	Lactate Déshydrogénase
Lx	Vertèbre lombaire numéro x
mA	Milliampère(s)
MET	Electrothérapie par micro-courants
min	Minute(s)
mm	Millimètre
ms-msec	Milliseconde(s)
MTC	Médecine Traditionnelle Chinoise
mV	Millivolt
PA	Potentiel d'action
ONC	Origine Non Constatée
q	Quantité d'énergie
Rh	Rhéobase
s- sec	Seconde(s)
Sem	Semaine(s)
Sx	Vertèbre sacrale numéro x
SNM	Seuil Nociceptif Mécanique
SRM	Seuil de Réponse Musculaire
TENS	Neurostimulation Electrique Transcutanée
TMC	Thérapie aux micro-courants
Tx	Vertèbre thoracique numéro x
UM	Unité Motrice
UP	Unité Pédagogique
VAS	Visual Analog Scale
µA	Microampère(s)
µm	Micromètre(s)
µs-µsec	Microseconde(s)

INTRODUCTION

L'électrothérapie est l'emploi de l'électricité dans un but thérapeutique. Les techniques d'électrostimulation sont des techniques de base de la physiothérapie et de la rééducation fonctionnelle. Elles sont utilisées pour traiter la douleur, lutter contre l'amyotrophie, rééduquer la tonicité et la force musculaire, stimuler des muscles paralysés... Le courant électrique est administré au travers de la peau au moyen d'électrodes de surface ou, éventuellement, au moyen d'aiguilles en électro-acupuncture. Ce sont les paramètres du courant qui vont déterminer son mode d'action et donc ses effets thérapeutiques. Depuis les années 70, la recherche et les études cliniques dans les domaines médical et sportif ont permis une meilleure connaissance et maîtrise des courants d'électrostimulation et de leurs effets et la mise au point d'appareils d'électrostimulation plus performants plus précis avec des courants plus adaptés à la physiologie neuromusculaire de l'homme. De nos jours, la miniaturisation des appareils a rendu possible l'utilisation de l'électrostimulation par le grand public et son entrée dans le marché du fitness et du « bien-être ».

Les micro-courants sont des courants particuliers, différents des courants classiques d'électrostimulation et dont la principale caractéristique est une intensité très faible, de l'ordre du microampère. Ils sont réputés imperceptibles par l'homme. Depuis les premières observations au début des années 70 aux USA, sur leur capacité à stimuler la cicatrisation cutanée, leurs possibilités thérapeutiques ont été explorées et plusieurs études ont cherché à comprendre leur mode d'action. Aujourd'hui, les micro-courants montrent chez l'homme des possibilités intéressantes dans le traitement de la douleur, la stimulation de la cicatrisation de différents tissus et même le traitement de certains troubles psychiques tels que l'anxiété l'insomnie et la dépression, mais leurs mécanismes d'action reste encore assez peu connus.

Les différentes techniques d'électrostimulation sont pratiquées en physiothérapie vétérinaire, et en particulier chez le cheval, depuis le début des années 1990, pour les mêmes indications que chez l'homme. Comme chez ce dernier, les dorso-lombalgies constituent un des problèmes majeurs du cheval de sport. Quasiment tous les chevaux de sport souffrent de dorsalgie ou en souffriront à un moment de leur carrière. L'électrostimulation qu'elle soit à visée antalgique ou de travail musculaire est une des techniques les plus indiquées dans le traitement et la prévention des douleurs dorsales, chez l'homme comme chez le cheval. Les micro-courants sont réputés agir sous le seuil de la perception, donc être à priori confortables et bien tolérés par les chevaux, efficaces contre la douleur, et très faciles à appliquer. Leur utilisation dans le traitement et la prévention des dorsalgies serait donc potentiellement intéressante à explorer.

A cet effet, nous nous proposons dans ce travail d'évaluer l'impact d'un traitement par les micro-courants sur la sensibilité dorsale du cheval.

Dans la première partie de ce mémoire, après avoir résumé les principaux points des bases de l'électrothérapie, nous présenterons les micro-courants, leurs caractéristiques, leurs indications et les connaissances actuelles concernant leurs effets thérapeutiques et mécanismes d'action.

La seconde partie sera consacrée à l'étude expérimentale que nous avons menée, présentée selon un plan classique : les animaux, le matériel et la méthode, les résultats puis leur discussion.

Chapitre 1 : L'ELECTROSTIMULATION ET LES MICRO-COURANTS

Historique de l'électrothérapie

(Rocques CF 1997)(Dolhem 2008)(Alpha Stim distributors 2016)

Dès l'Antiquité, les propriétés électriques des poissons torpilles et gymnotes étaient utilisées à des fins thérapeutiques (céphalée, goutte). Mais tant que l'homme ne savait pas produire de l'électricité ce remède n'était qu'anecdotique.

Il a fallu attendre quinze siècles avant que l'homme puisse progresser dans ce domaine. C'est William Gilbert (1540-1603) qui invente le mot électrique suite à ses expériences sur l'ambre et la résine fossile. La première machine électrique fut construite au XVIIième siècle par un physicien allemand : Otto von Guericke (1602-1686). Mais c'est au milieu du XVIIIème siècle que l'énergie électrique a pu être stockée grâce à la bouteille de Leyde.

Les travaux sur l'électrothérapie vont alors pouvoir se multiplier. En Allemagne, Kratzenstein guérit un doigt contracturé par « l'électricité médicinale » en 1744. Puis en 1786, Galvani mettait en évidence l'existence d'une « électricité animale siégeant dans les tissus » en stimulant des nerfs de grenouilles de façon reproductible, à l'aide de décharges électriques.

Avec la découverte des actions d'induction par Faraday en 1820, une nouvelle période commence pour l'électrothérapie. Duchenne de Boulogne établit, à partir des observations de Faraday, les premières applications physiologiques de l'électrostimulation motrice en 1849 et fait découvrir l'inexcitabilité des muscles dénervés par le courant utilisé par Faraday. Les lois de la contraction musculaire sont ensuite énoncées par Dubois-Reymond.

En 1967, deux ans après la publication de la théorie du « gate control » par Melzak et Wall (1965), ce dernier, associé à Sweet publie la première application clinique de neurostimulation transcutanée, bien connue aujourd'hui sous le terme « TENS », qui marque le début de l'utilisation de l'électrothérapie dans le traitement de la douleur.

Au cours du XXième siècle, les applications thérapeutiques de l'électrostimulation n'ont cessé de se multiplier. L'électrothérapie est aujourd'hui une technique de base indispensable en physiothérapie, et fait à présent partie de l'enseignement médical.

C'est aux alentours des années 1970, que les micro-courants font leur apparition dans le domaine de la médecine. Les travaux de l'équipe de L.E. Wolcott aux USA montrent qu'ils améliorent la qualité du tissu cicatriciel et qu'ils ont un effet antibactérien. Le Dr. Kirsch D.L. s'est ensuite penché sur l'utilisation des micro-courants en particulier lors de séances d'électro-acupuncture. Suite aux effets bénéfiques des micro-courants constatés sur la cicatrisation, Kirsch commence à les utiliser pour traiter la douleur chronique via des électrodes cutanées et développe en particulier leur utilisation en électrothérapie crânienne pour le traitement de l'anxiété et la dépression chez l'homme. Ses nombreux travaux permettent de connaître progressivement de mieux en mieux cette thérapeutique et ses modalités d'application. Les appareils à micro-courants sont validés aujourd'hui par la FDA aux USA pour le traitement de la douleur, de l'insomnie, de l'anxiété et la dépression. Ce n'est que depuis une dizaine d'années que les micro-courants ont fait leur apparition en thérapeutique vétérinaire où son domaine d'exploration est encore très vaste.

I. Principe de base de l'électrothérapie/électrostimulation

A. Définition, caractéristiques et paramètres d'un courant d'électrostimulation

Du point de vue physiologique**,** l'électrostimulation consiste à créer des potentiels d'action (PA) qui se propagent le long des cellules nerveuses ou musculaires au moyen d'un courant électrique. Cette stimulation peut concerner des fibres sensitives, ce qui se traduit par la transmission d'une information tactile, proprioceptive (ou douloureuse) vers le système nerveux central ; ou des fibres motrices (motoneurones) induisant alors une réponse de contraction musculaire. On parle d'électrostimulation neuro-musculaire (ESNM).

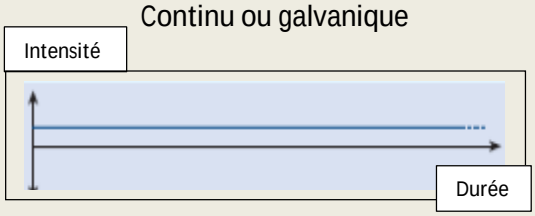
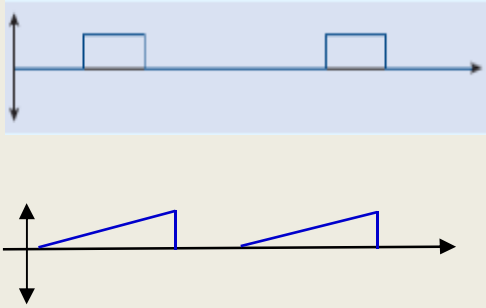
En physiothérapie, l'ESNM est une électrostimulation transcutanée avec des électrodes de surface. Deux principales modalités sont utilisées : les courants à visée antalgique dont les plus connus sont les « TENS » (électro-neuro-stimulation transcutanée) d'une part, et les courants d'électromyostimulation (EMS), excito-moteurs, pour la rééducation active musculaire, d'autre part.

En fait, et au sens littéral du terme, l'acronyme « TENS », peut s'appliquer à toutes les formes d'électrostimulation avec des électrodes de surface, EMS inclus. Ce sont les paramètres du courant qui vont déterminer le recrutement des différents types de fibres nerveuses et/ou musculaires et conditionner les différents effets thérapeutiques. Ainsi, bien que, comme nous le verrons plus loin, leur mode d'action apparaît bien différent des courants d'ESNM classiques, les micro-courants peuvent être aussi considérés comme des TENS.

Un courant d'électrostimulation est formé par une suite d'impulsions électriques qui surviennent à une certaine **fréquence**, avec une **intensité** (amplitude) donnée, qui présentent une certaine **forme**, et durent un certain **temps**. Ce sont ces paramètres fondamentaux du courant qui lui confèrent ses effets biologiques et thérapeutiques.

Le Tableau I résume succinctement les principaux courants utilisés en électrothérapie.

Tableau I : Classification des courants selon état et direction modifiée d'après (Crépon et al. 2007) (Dumoulin J et Bisschop G 1980)(Schwaab 2014)

Etat	Direction	Courant	Propriétés Indications	Avantages Inconvénients
Constant	Unidirectionnelle	Continu ou galvanique 	Ionisations (ionophorèse) Administration de médicaments par voie transcutanée	Electrolyse : risque de brûlures chimiques Intérêt restreint car protocole rigoureux : intensité et durée limitées Contre-indication : pièces métalliques incluses Désagrément : irritation galvanique
Variable		Impulsions rectangulaires ou triangulaires isolées 	Electrodiagnostic et électrostimulation du muscle dénervé	
	Bidirectionnelle ou biphasique	Basse fréquence : < 150 Hz Très basse fréquence : < 10Hz	Electrostimulation antalgique et excito-motrice	Innocuité Efficacité Indications élargies Confort

B. Forme de l'impulsion électrique

Différentes formes d'impulsions sont utilisées en électrothérapie. Par exemple les impulsions triangulaires, rectangulaires ou trapézoïdales unidirectionnelles et à pente progressive (très longue durée) sont utilisées pour l'électrodiagnostic et la stimulation des muscles dénervés. Les impulsions sinusoïdales périodiques composent les courants de moyenne fréquence. Ils sortent du cadre de notre étude.

Nous nous intéresseront ici essentiellement au courant qui, de nos jours, est considéré être **le plus adapté à l'ESNM : le courant rectangulaire alternatif biphasique à moyenne nulle et de basse fréquence** (figure 1) (Dumoulin J et Bisschop G 1980)(Crépon et al. 2007)(Rocques CF 1997). C'est celui qui dote la grande majorité des appareils d'électrostimulation modernes et pour lequel les protocoles d'électrothérapie ont été élaborés chez l'homme. De par l'absence de polarité (« à

moyenne nulle »), ce courant offre un confort et une innocuité de stimulation et peut être utilisé sans risques à proximité d'implants métalliques.

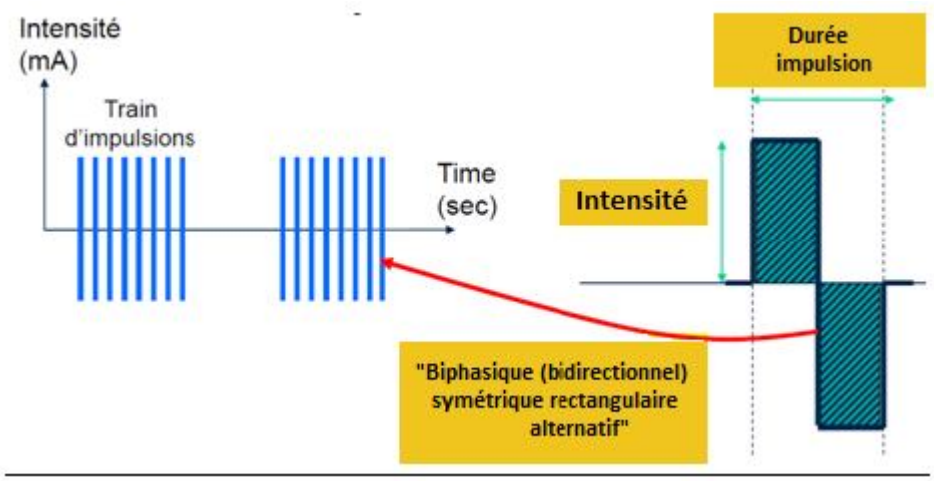


Figure 1: Impulsion du courant alternatif biphasique symétrique rectangulaire pour l'EMS (d'après Sawaya S., 2013)

C. La fréquence de stimulation

La fréquence correspond au nombre d'impulsions par seconde, son unité est le Hertz. La fréquence est un paramètre primordial en électrothérapie ; elle conditionne :

- - Le recrutement temporel des fibres nerveuses et par conséquent la fréquence de décharge des neurones (Sawaya 2013a)
- Le déclenchement de la dépolarisation membranaire en lien avec la durée d'impulsion (Vanderthommen 2005)
- L'ordre de recrutement des unités motrices en EMS.

L'action biologique des courants appliqués se fait exclusivement à de basses fréquences (Sawaya 2013b) (Rocques CF 1997) (Dumoulin J et Bisschop G 1980). On travaille avec des courants qui se situent sur une plage de fréquence « physiologique », c'est-à-dire à celle des décharges des neurones sensitifs et moteurs lorsqu'ils sont stimulés. Elle se situe entre 1 et 100 Hz essentiellement (jusqu'à 200 Hz maximum).

En électrothérapie, on a recours à deux types de stimulations musculaires : les contractions non tétaniques dont les fréquences se situent entre 1 et 20 Hz, et les contractions tétaniques dont les fréquences sont supérieures à 20 Hz (Sawaya 2013b)(Vanderthommen 2005) :

- **A de très basses fréquences, entre 1 et 15 Hz environ,** la stimulation se traduit par des secousses musculaires individualisées plus ou moins rapprochées selon la fréquence. Ces fréquences sont utilisées pour l'application des TENS « endorphiniques » (2 à 4 Hz) dans le traitement des douleurs chroniques ; pour les courants décontracturants ou de « tonolyse » (1-3 Hz) pour lutter contre des contractures musculaires rebelles, ou pour un effet trophique et de « réveil moteur » en rééducation musculaire (en général en

fréquence modulée entre 2 et 8 ou 10 Hz et jusqu'à 15 Hz), en préparation d'un travail tétanique (Crépon 2009a)(Sawaya 2013c)

- **Entre 15 et 20 Hz environ,** les secousses musculaires ont tendance à se confondre, mais sans fusionner complètement. Cela mène à un « tétanos imparfait » qui n'est pas réalisable par contraction volontaire naturelle. Ce type de stimulation recrute préférentiellement les unités motrices lentes, et est surtout utilisé pour les muscles très faibles, atrophiés, en état de sidération fonctionnelle, et en phase préparatoire à une phase de travail en contractions tétaniques.
- **Au-delà de 25 Hz,** les secousses fusionnent et réalisent un tétanos parfait. On observe alors une contraction homogène de l'ensemble du muscle avec un déplacement du segment correspondant. La contraction tétanique est utilisée pour lutter contre l'amyotrophie et pour le renforcement musculaire. On utilise habituellement des fréquences entre 25 et 70 Hz.

Il est à noter qu'il existe une différence entre les petits et les grands animaux (Gobelet 1998). La fréquence et l'intensité de stimulation nécessaire à la transformation des fibres musculaires sont inférieures chez les grands animaux.

La fréquence de stimulation détermine le recrutement des différents types de fibres. Le tableau II présente la fréquence de décharge pour les différents types de fibres (Crépon et al. 2007).

Tableau II : Fréquence de décharge des différents types de fibres

Fibres	Type I	Type IIa	Type IIb
Type de métabolisme	Aérobie Lentes - endurantes	Aérobie et anaérobie Résistantes	Anaérobie Rapides - fatigables
Fréquence de décharge	8 – 33 Hz	20 – 40 Hz	40 – 80 Hz
Durée de la contraction	100 ms	50 ms	10 – 30 ms

Les fibres de type I commencent à fusionner à une fréquence d'environ 10 Hz et se tétanisent vers 30 Hz. Les unités motrices de type IIb entament leur sommation à 30 Hz et se tétanisent parfaitement pour une fréquence de 65 Hz. Par conséquent, à des fréquences inférieures à 40 Hz, les fibres recrutées sont préférentiellement celles des UM lentes et à métabolisme aérobie (I et IIa). Au-delà de 40 Hz, toutes les fibres sont stimulées (Rocques CF 1997)(Vanderthommen et al. 2010).

En rééducation fonctionnelle le travail musculaire à des fréquences inférieures à 40 Hz aura tendance à améliorer la résistance à la fatigue des muscles atrophiés et affaiblis. Les études ont montré qu'une stimulation prolongée à de basses fréquences (< 10 Hz) entraine une transformation des fibres type IIb en type IIa, puis en type IIc et enfin en fibres de type I (Gobelet 1998).

Remarque : Des courants de moyenne fréquence sont également utilisés en ESNM antalgique ou excito-motrice (en général entre 2000 et 8000 Hz). Ces courants sont réputés confortables et agir en profondeur : la fréquence très élevée implique une durée d'impulsion très faible, ce qui diminue fortement l'impédance cutanée, et favorise leur pénétration transcutanée. Toutefois, ces courants de moyenne fréquence sont soit des courants modulés en basse fréquence soit des courants interférentiels ce qui revient donc, du point de vue thérapeutique, à l'administration de courants de basses fréquences.

D. Intensité et durée d'impulsion

Le courant optimal est celui qui fournit la quantité d'énergie minimale permettant de provoquer l'apparition d'un potentiel d'action et sa propagation le long du nerf sensitif ou moteur. Cette quantité d'énergie (q) dépend de l'intensité (i) et de la durée de l'impulsion (t) et correspond à l'aire délimitée par ces deux paramètres sur la figure 1 (q = i*t).

Les travaux de Weiss (1901) puis de Lapicque (1938), ont permis de déterminer l'équation de la relation entre ces deux paramètres : I = Rh (Ch/t + 1) où Rh est la rhéobase et Ch la chronaxie de la fibre nerveuse ou musculaire stimulée. La courbe i = f(t) ou « courbe i-t », de forme hyperbolique, est présentée dans la figure 2. Elle montre que même pour une durée d'impulsion infinie, il faut une intensité minimale pour obtenir la plus petite stimulation nerveuse. Ce seuil d'intensité est la rhéobase. A l'inverse, pour une intensité fixe, égale à deux fois la rhéobase, la durée de l'impulsion nécessaire à l'obtention de la plus petite stimulation détectable est la chronaxie (Lapicque 1938). Elle caractérise donc l'excitabilité du nerf sensitif ou moteur.

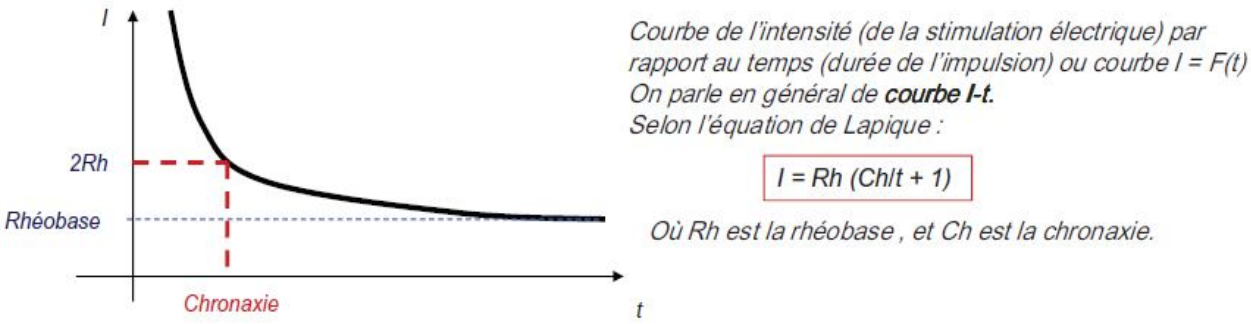


Figure 2 : courbe I-t, rhéobase et chronaxie (Sawaya 2013a)

La valeur optimale de la durée d'impulsion pour l'électrostimulation musculaire doit être égale à la chronaxie motrice du muscle (en fait, celle de son nerf moteur). **Pour la stimulation des fibres sensitives (courants à visée antalgique) elle doit être égale à la chronaxie sensitive** (Lapicque 1938)(Dumoulin J et Bisschop G 1980)(Rocques CF 1997)**.** La chronaxie motrice d'un muscle sain (dont l'innervation est intacte) est inférieure à 1 ms. Tous les muscles n'ont pas la même chronaxie selon leur rôle, leur situation, leur composition en fibres lentes ou rapides. Il existe des muscles à chronaxie lente (> 400 microsecondes) et d'autres à chronaxie courte (< 400 microsecondes)(Rocques CF 1997)(Dumoulin J et Bisschop G 1980). Ces valeurs des chronaxies motrices sont à la base des différents protocoles d'ESNM préprogrammés dans les électro stimulateurs à usage humain.

Le graphe de Howson DC (1978) montre l'ordre de recrutement des différentes fibres nerveuses en fonction de l'intensité de stimulation (figure 3). Une durée d'impulsion optimale permet de stimuler les fibres sensitives tactiles et/ou motrices sans recruter les fibres de la douleur (figure 3) (Howson 1978) (Sawaya, Combet, et Maellier 2010). Ceci est d'autant plus important à considérer avec les animaux malades, chez lesquels le seuil de perception de la douleur est abaissé, et qui peuvent également présenter une allodynie.

Les chronaxies motrices des principaux muscles dont la stimulation est indiquée en rééducation chez le chien et le cheval ont été mesurées à l'unité de physiothérapie-Rééducation-Ostéopathie

du campus vétérinaire de Lyon. Elles sont comprises entre 100 et 300 microsecondes (µs)(Sawaya, Combet, et Maellier 2010)(Sawaya et al. 2008)(Sawaya et al. 2009)(Sawaya et Maellier 2005).

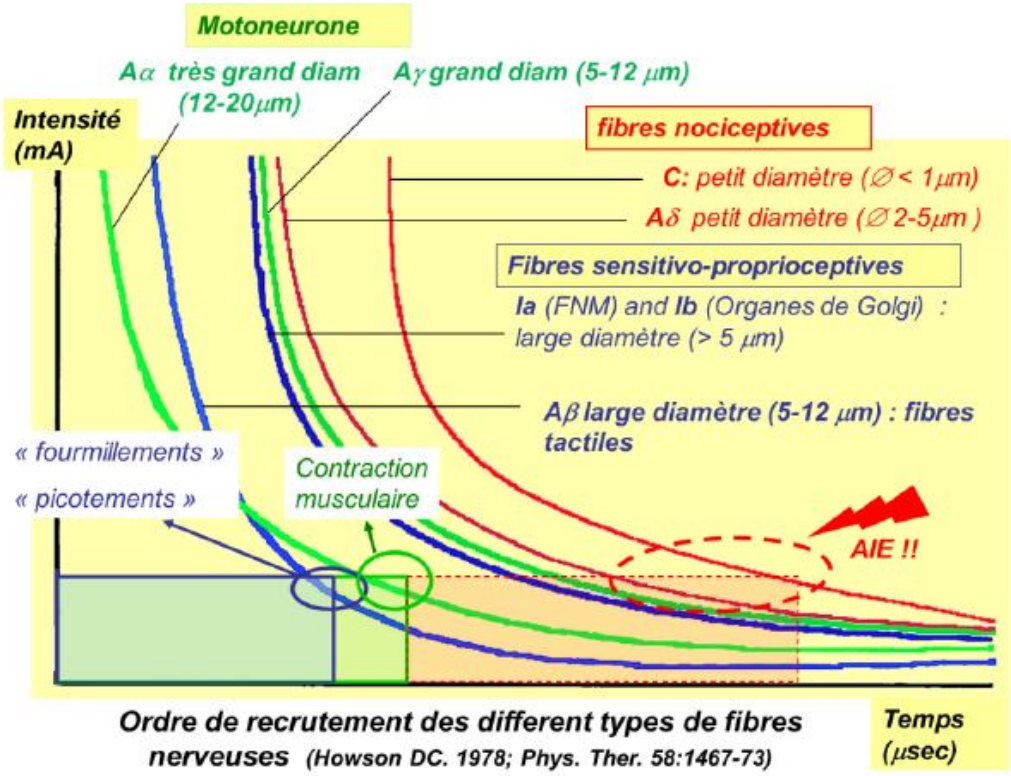


Figure 3 : Diagramme de Howson : Ordre de recrutement des différents types de fibres nerveuses en fonction de la durée d'impulsion. Pour les valeurs moyennes d'intensité utilisées en ESNM chez les mammifères, si on augmente la durée d'impulsion, les premières fibres recrutées sont les fibres sensitives (sensibilité tactile), puis les motoneurones (contraction musculaire) puis, pour des valeurs plus élevées de t, les fibres nociceptives (douleur) d'après (Sawaya, Combet, et Maellier 2010)

Lors d'atteinte neurologique avec dénervation partielle ou totale du muscle, la chronaxie qui correspond au temps de latence entre la stimulation et la réponse du muscle, est augmentée dramatiquement pour atteindre des valeurs largement supérieures à 1 ms (jusqu'à parfois 300 ms parfois, soit 1000 fois plus que chronaxie motrice d'un muscle sain). Ceci s'explique par le fait que dans ce cas, on ne mesure plus la chronaxie du nerf moteur (qui n'est plus fonctionnel) mais directement celui des fibres musculaires dénervées qui sont beaucoup moins excitables. Ces muscles ne répondent plus aux courants d'EMS « classiques ». Pour pouvoir les contracter il faut recourir à des courants particuliers, appelés « courants de dénervation », qui sont caractérisés par leur très longue durée d'impulsion (largement supérieure à 1ms, en général entre 30 et 100 ms) et de forme triangulaire, rectangulaire ou trapézoïdale, permettant de recruter spécifiquement les fibres musculaires dénervées. Les mesures de la rhéobase et de la chronaxie, ainsi que d'autres paramètres qui leur sont reliés, font partie de l'électrodiagnostic traditionnel des affections neurologiques périphériques, et de leur suivi, en physiothérapie.

Selon le type de traitement mis en place, **l'intensité de stimulation** est réglée:

- Sous le seuil de la contraction musculaire (à perception du courant) dans le cas des courants TENS dits « gate control ». Ces courants sont appliqués à fréquence élevée (80 Hz en

moyenne) dans le but de traiter la douleur aigue. La durée d'impulsion et égale à la chronaxie sensitive de fibres tactiles (≤ 200 microsecondes).

- Au-dessus du seuil de la contraction musculaire et au maximum confortable quand il s'agit des TENS à très basse fréquence (F = 2 à 4 Hz, qualifiés de courants « endorphiniques »), de courants d'EMS non tétaniques (F = 2 à 15 Hz, à visée trophique, d'échauffement et de « réveil moteur ») et de courants d'EMS tétaniques (F = 25 à 70 Hz, pour lutter contre l'amyotrophie, augmenter la tonicité, et le renforcement musculaire). Dans tous ces cas, la durée d'impulsion est égale à la chronaxie des muscles à stimuler.

II. Les micro-courants

A. Particularités des micro-courants

Les micro-courants sont des courants d'électrostimulation qui différent nettement des courants d'ESNM conventionnels par plusieurs de leurs caractéristiques ainsi que par leurs mécanismes d'action.

Paramètres d'un micro-courant

- **La forme du courant** : Dans les stimulateurs les plus récents, le courant généré est, comme pour les courants d'ESNM classiques, un courant périodique (alternatif) rectangulaire asymétrique biphasique à moyenne nulle (non polarisé) (Figure 4). L'asymétrie des phases positives et négatives des impulsions électriques (mais dont l'aire est égale, d'où une moyenne nulle), permet théoriquement de lutter contre l'accoutumance au courant, en particulier dans le traitement des douleurs chroniques.
- **L'intensité** du courant varie entre 50 et 600 microampères (µA). **Ce qui est 10 à 1000 fois plus petit que les intensités appliquées en ESNM classiques** qui sont de l'ordre du milliampère.
- **Fréquence** : La plage de fréquence la plus souvent utilisée est très basse : entre 0,4 et 1,5 Hz. Mais certains appareils proposent également des fréquences plus élevées (100 Hz), en particulier pour le traitement de douleurs aigues. Ces plages de fréquences se rapprochent de celles utilisées avec les TENS (fréquences élevées entre 50 et 100 Hz, pour une stimulation des mécanismes du « gate control » lors de douleurs aigues ; fréquences très basses, entre 2 et 4 Hz pour stimuler la libération des endorphines, pour les douleurs chroniques). Toutefois, les fréquences inférieures à 1 Hz ne sont pas utilisées avec ces derniers.

- **Durée impulsion :** La durée d'impulsion des micro-courants est d'environ 0,5 secondes **ce qui est 2500 fois plus long qu'une impulsion avec des courants TENS**(Mercola et Kirsch 1995). Une unité de micro-courants représente à peu près dix fois le circuit électronique d'une unité TENS.

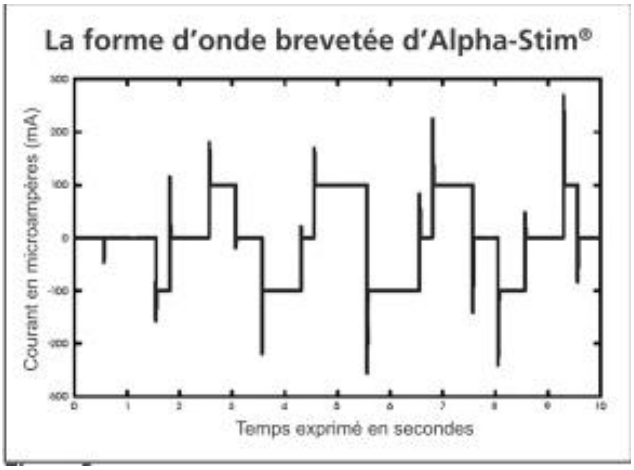


Figure 4 : Courant alternatif biphasique de très basse fréquence à moyenne nulle généré par l'appareil Alpha stim® M (Electromedical products International 2013)

Le tableau III présente un récapitulatif et un comparatif des paramètres des micro-courants vs des courants d'ESNM conventionnels.

Tableau III: Tableau récapitulatif et comparatif des paramètres des courants d'ESNM classiques et des micro-courants produits par les générateurs les plus récents de type Alpha-Stim® (Epi, Mineral Wells, USA)

Paramètres du courant	Courants d'ESNM conventionnels	Micro-courants
Forme du courant	Périodique rectangulaire alternatif symétrique biphasique à moyenne nulle	Périodique (alternatif) rectangulaire asymétrique biphasique à moyenne nulle
Fréquence (Hz)	1 à 100 (200)	0,4-1,5 Hz (parfois 100)
Intensité (mA)	1 à 600	0,05 à 0,6
Durée d'impulsion (msec)	0,1 à 0,5	500 (250 à 1000)

B. Domaines d'application des micro-courants

Les micro-courants sont préconisés pour traiter la douleur aigue ou chronique, favoriser la cicatrisation des tissus, traiter les migraines, insomnies et troubles de l'anxiété chez l'homme. Un certain nombre d'études semblent montrer un réel effet bénéfique dans ces indications.

1. Cicatrisation

a) Cicatrisation cutanée

L'électricité a été une des premières méthodes de traitement des plaies de surface, et ceci il y a plus de trois cents ans. Des études expérimentales sur animaux ont pu montrer que l'application de courant sur des plaies accélère la cicatrisation et de plus confère à la cicatrice un tissu fibreux plus résistant.

Pour assurer une bonne cicatrisation, le courant bioélectrique doit pouvoir circuler correctement sur toute la plaie. Or, lors de plaies étendues cicatrisant par seconde intention, la surface s'assèche et empêche le courant bioélectrique de circuler. L'application de micro-courants permet alors de pallier ce problème.

Plusieurs études, majoritairement réalisées in vitro, chez l'homme ou l'animal de laboratoire ont évalué les capacités des micro-courants à stimuler la cicatrisation cutanée.

- **Etudes expérimentales**

Les micro-courants favorisent la cicatrisation cutanée en intervenant à trois niveau : stimulation de la fibroplasie et de la formation du tissu de granulation, stimulation de l'épithélialisation, et par leur effet antibactérien.

L'augmentation du nombre de fibroblastes d'une part, et de la production de collagène d'autre part, ont été montrés par des études in-vitro de (Sugimoto et al. 2012) et in vivo d'Alvarez O (Alvarez 1983) respectivement. Ce dernier étudia des plaies induites expérimentalement chez le porc. Celles qui avaient reçu un traitement aux micro-courants (50 -300 microampères) montraient à la biopsie une quantité significativement plus importante en collagène que celles qui n'avaient reçu aucun traitement. L'étude de Sugimoto et al, montre que cette augmentation de la production de collagène serait en relation avec une augmentation du nombre de fibroblastes colonisant le site de la lésion. En effet, les colonies de fibroblastes soumises à un micro-courant migrent vers l'électrode négative, et cette migration est plus importante pour une intensité de 100 microampères qu'à 50 microampères.

Plus récemment, dans une étude histologique sur des plaies en voie de cicatrisation chez l'homme, (Ud-din et al. 2015) ont montré que dès le 7ème jour, les plaies ayant été traitées avec des micro-courants montraient une amélioration significative du tissu de granulation en quantité (plus épais) et en qualité (disparition des inclusions lipidiques).

D'autres études in vitro dont celle de Nishimura et al (Nishimura, Isserroff, et Nuccitelli 1996) et, plus récemment, celle de (Banerjee et al. 2014) tendent à montrer que l'amélioration de la vitesse d'épithélialisation des plaies traitées avec les micro-courants serait due à la stimulation de la migration des kératinocytes. Ces derniers sont chargés positivement et, quand ils sont soumis à un courant électrique, migrent, comme les fibroblastes, vers le pôle négatif. Nishimura et al montrèrent que pour que cette migration se fasse de façon longitudinale et rectiligne et non pas anarchique, le courant devait être à une tension minimale de 10mV/mm, et que la meilleure performance était observée pour 100mV/mm.

L'effet bactériostatique a été étudié en 2014 par (Kim et al. 2014) qui ont évalué l'efficacité du pansement bioélectrique Procellera®. Ce travail a été réalisé in vitro par la culture des différentes souches de bactéries colonisatrices des plaies cutanées humaines en présence du pansement ou pas. Après 24h, dans les cultures soumises au traitement, toutes les bactéries étaient détruites sauf Enterococcus Faecalis. Une exposition plus longue au pansement permet d'aboutir à un effet antibiostatique sur les souches d'Entérococcus. Il est intéressant de noter que la majorité des souches testées dans cette étude sont impliquées dans les surinfections des plaies chez le chien, mais aucune étude jusqu'ici n'a étudié, directement chez cette espèce, l'effet du pansement bioélectrique sur ces bactéries. D'autres équipes ont cherché à évaluer l'effet du type d'électrode et de l'intensité sur les bactéries. Il ressort que l'efficacité maximale est obtenue avec des électrodes en argent à de très faibles intensités (entre 0,4 et 4 microampères) ; d'autres types d'électrodes sont également efficaces mais pour des intensités plus élevées (de l'ordre de 400 microampères) (Kloth 2005)(Asadi et Torkaman 2014), ce qui correspond aux niveaux d'intensités délivrés par les appareils à micro-courants destinés aux praticiens et existant sur le marché.

- **Observations cliniques en pratique vétérinaire**

Les études in vivo en application vétérinaire directe sont par contre beaucoup plus rares. Frick A et McCauley D rapportent en 2005 (Frick et McCauley 2005) une observation clinique sur une jument Quarter Horse de 2 ans qui présentait une plaie de grande taille (20 cm x 10 cm) non évolutive sur la croupe droite. La plaie avait endommagé le tuber coxae dont un morceau avait dû être retiré. La plaie a ensuite été suturée au maximum mais une grande partie devait cicatriser par seconde intention. Le cheval a reçu un traitement aux micro-courants au moyen d'un appareil Alpha-stim® 7j/7, 24h/24 pendant 3 semaines. Deux voies étaient mises en place selon une disposition croisée de quatre électrodes de part et d'autre de la plaie. Le courant était administré à une fréquence de 0,5 Hz et une intensité de 100 µA. Les électrodes étaient protégées par un pansement, et le cheval ne pouvait pas se coucher sur la plaie. Au bout des 3 semaines de traitement, la taille de la plaie était diminuée environ de moitié. La cicatrisation complète et la reprise du travail ont eu lieu quatre mois plus tard.

b) Cicatrisation tendineuse, cartilagineuse et musculaire

Les micro-courants peuvent stimuler in vitro la prolifération de ténocytes (Lin et al. 2006). Dans cette étude, les ténocytes ont été cultivés à partir de tendons fléchisseurs superficiels du doigt prélevés sur 20 cadavres de chevaux. Six intensités de courant ont été testées, chaque application durait huit minutes et était réalisée sur un, deux ou trois jours. L'application des micro-courants peut avoir un effet aussi bien positif que négatif sur la prolifération des ténocytes, tout dépend de l'intensité choisie et du nombre d'application de ceux-ci. Ces résultats sont encourageants mais ne permettent pas de promouvoir l'utilisation de micro-courants dans le traitement des tendinites chez le cheval.

Une étude randomisée in vivo sur une lésion de section partielle expérimentale du tendon d'Achille a été réalisée chez le rat par (Chan, Fung, et NG 2007). Une semaine après la chirurgie, le groupe traité a reçu une séance par jour de micro-courants par voie transcutanée (100 microampères et 10 Hz) pendant 22 jours. Le groupe témoin a reçu un faux traitement (placebo). Au 31ème jour, les tendons étaient prélevés pour des tests d'évaluation biomécanique (rigidité, élasticité, tension maximale à rupture). Les résultats montrent une amélioration significative de la résistance à la traction longitudinale des tendons provenant du groupe traité par micro-courants à 4 semaines après la lésion. Cette étude confirme des résultats ultérieurs obtenus par administration de micro-courants au moyen d'électrodes implantées.

Plusieurs études récentes tendent à montrer que les micro-courants facilitent également la régénération du muscle squelettique en activant son potentiel régénératif. Le nombre de cellules satellites est augmenté par un traitement par électrothérapie durant la phase de régénération (Fujiya et al. 2015). La stimulation neuromusculaire par les micro-courants permet de restaurer le contenu protéique et la masse musculaire plus rapidement après une blessure, elle limite également la nécrose musculaire (Ohno et al. 2013).

c) Cicatrisation des tissus osseux et cartilagineux

Comme toutes les techniques produisant un effet piézo-électrique dans les tissus biologiques, les courants électriques ont montré depuis la fin du XIXème siècle leur intérêt dans la stimulation de la cicatrisation osseuse. De nombreuses études avec des courants d'ESNM ont été réalisées chez le lapin, le chien ou chez l'homme avec des électrodes de surface ou implantées. Elles montrent une stimulation de la cicatrisation avec une meilleure minéralisation du cal osseux, et une résistance mécanique augmentée aussi bien en torsion qu'en traction et compression. Différents types de courants TENS ont été testés. Avec de très faibles durées d'impulsions (de l'ordre de 50 µsec) les courants de fréquence élevée (100 Hz) semblent stimuler la microcirculation, tandis que des courants de très basse fréquence (4 Hz) stimuleraient les ostéoblastes (R.K. Aaron et Simons 2004)(Park et Silva 2004).

Le constat de l'intérêt des micro-courants dans la stimulation de l'ostéogénèse date des années 1950. Plusieurs études cliniques chez l'homme ont porté sur le problème de non-union lors d'ostéosynthèse avec de très bons résultats (Poltawski et Watson 2009). Par exemple, (C.T. Brighton et al. 1981) appliquent des micro-courants à des intensités de 10 à 20 µA pendant douze semaines chez cinquante-sept patients présentant des retards à l'ostéosynthèse, suivis de douze

semaines d'immobilisation. Soixante-seize pourcents des fractures étaient cicatrisées à la fin du traitement. Toutefois ces études cliniques restent sans groupe témoin. Des études expérimentales sur animaux de laboratoire confirment ces résultats, telle que celle de Richez J et al (Richez, Chamay, et Bieler 1972) réalisée chez le lapin. Il applique des micro-courants monopolaires à 50 µA chez quinze lapins et compare l'effet de la cathode et de l'anode. Les analyses histologiques réalisées au cours des trois semaines d'application montrent clairement une réponse ostéogénique en regard des électrodes à deux et trois semaines alors qu'il n'y avait aucune ostéosynthèse en regard du site non traité. Une meilleure cicatrisation (tissu osseux encore non organisé, mais richement vascularisé et colonisé par les ostéoblates) est constatée sur les sites sous la cathode comparativement à l'anode. Il apparaît enfin que des intensités inférieures ou égales à 30 µA seraient les plus favorables à la stimulation de l'ostéogénèse (Poltawski et Watson 2009).

L'application de micro-courants accélère la cicatrisation du cartilage non-articulaire (De Campos Ciccone et al. 2013) sur des sujets juvéniles. Le nombre de fibroblastes est nettement augmenté après un traitement aux micro-courants. De plus, l'augmentation de la concentration en glycosaminoglycanes et l'organisation précoce du cartilage chez les animaux traités avec les micro-courants peuvent être le résultat de l'effet bénéfique de ceux-ci sur la production, l'entretien et l'organisation de la matrice extracellulaire. Ces faits seraient liés à l'effet stimulant des champs électrique et magnétique sur l'expression de gènes codant des protéines de la matrice extracellulaire (Roy K. Aaron et al. 2004)(Carl T. Brighton, Wang, et Clark 2008). Ceci aurait pour conséquence une augmentation du dépôt de cartilage et d'os dans les tissus cicatriciels. Ce potentiel d'accélération de la cicatrisation des cartilages de croissance est à prendre en considération lors du traitement d'affections ostéo-articulaires ou musculo-tendineuses chez des très jeunes animaux en croissance, afin d'éviter la soudure précoce des épiphyses et stopper la croissance.

2. Traitement de la douleur et de l'inflammation

A l'heure actuelle, il ne semble y avoir aucune étude référencée évaluant l'impact de la thérapie aux micro-courants sur la douleur chez les animaux domestiques. Les études réalisées chez l'homme, montrent un effet potentiellement bénéfique des micro-courants dans diverses douleurs, notamment les myalgies induites par l'effort et les rachialgies. Une étude réalisée chez le chien évalue les effets des micro-courants sur l'inflammation et l'œdème post-opératoires.

a) Rachialgies, douleurs myofasciales

Cet aspect des micro-courants est en rapport direct avec le sujet de l'étude expérimentale de la seconde partie de notre thèse. Nous n'avons toutefois trouvé aucune étude référencée ou accessible sur l'effet des micro-courants sur la sensibilité dorsale ou chez des animaux domestiques souffrant de dorsalgies.

Les études spécifiques sur les rachialgies chez l'homme avec des protocoles incluant un groupe témoin ou un groupe placebo, et des évaluations quantitatives sont rares. Dans la majorité des cas, les études cliniques sur la douleur se limitent à une évaluation subjective au moyen d'échelles analogues.

Dans une étude analytique sur cinq cent patients ayant bénéficiés d'une thérapie aux micro-courants appliqués avec électrodes et/ou par électrostimulation crânienne, pour deux cent soixante des deux cent quatre-vingt-six patients souffrant de douleurs diverses (soit 91%), l'amélioration de la douleur est significative (correspond à une amélioration de plus de 25% du score initial). Dans une autre analyse sur un nombre encore plus important de patients (deux mille cinq cent) ayant bénéficiés d'au moins trois semaines de cette thérapie, ce pourcentage d'amélioration significative de la douleur monte à 93%. Dans cette dernière étude, les origines des douleurs sont spécifiées. Il apparaît que les dorsalgies sont parmi celles qui semblent répondre le mieux à la TMC (383/403 patients, soit 95% rapportent une amélioration significative), de même que les cervicalgies (247/265 patients, soit 93%), derrière l'arthrose (94%) et les douleurs des hanches et du pied (96%). Quatre-vingt-dix pourcents des patients souffrant d'un syndrome myofascial ou de fibromyalgie montrent également une amélioration notable de leur état algique. Dans la très grande majorité des cas, entre 50 et 60% environ des patients trouvent cette amélioration légère à modérée, et entre 20 et 30% la jugent très bonne à complète (Kirsch 2002).

Dans une étude comparant traitement et placebo en double aveugle (les patients et le praticien administrant les micro-courants au moyen d'électrodes-stylets sur des points bien précis et reproductibles ne savent pas si l'appareil utilisé est un véritable stimulateur ou factice) chez deux cent un patients souffrant de dorso-lombalgies chroniques (supérieures à douze mois, et phases douloureuses de plus de cinquante heures par semaine), Lerner FN et Kirsch DL (Lerner et Kirsch 1981) observent une amélioration significative du score de douleur dès la troisième semaine, persistant pendant huit semaines, après une cure de deux semaines à raison de trois séances hebdomadaires de TMC (ou de placebo). Un effet placebo significatif a été également mis en évidence, mais l'amélioration perçue par le groupe traité était environ deux fois plus importante que pour le groupe placebo.

Ces résultats sont rejoints par ceux de quelques autres études, basées sur une évaluation par les patients au moyen d'une Visual Analog Scale (VAS) montrant un effet significatif des micro-courants sur les lombalgies chroniques ((Koopman, Vrinten, et van Wijck 2009), étude pilote sur dix patients successivement traités et placebo) ou des douleurs myofasciales associées à des trigger points ((Iodice et al. 2016), quarante patients répartis en groupe traité et groupe témoin).

b) Douleurs musculaires induites par l'effort

Plusieurs études réalisées chez l'homme ont montré l'intérêt des micro-courants dans la réduction des douleurs et dysfonctionnements musculaires induits par l'effort. Cet aspect est particulièrement intéressant en ce qui concerne le cheval de sport.

Le but de l'étude de Curtis et al (Curtis et al. 2010) est de comparer l'effet d'un traitement par électrostimulation avec des micro-courants et un témoin sur la récupération musculaire après un exercice se traduisant par de la douleur, de la raideur, une perte de force,…. Les patients évaluent le degré de leur douleur avant l'exercice musculaire puis vingt-quatre, quarante-huit et soixante-douze heures après l'exercice. La douleur est notée sur une échelle de 10 (le 0 étant l'absence de douleur). A 24h et 48h, la perception de la douleur est significativement plus basse dans le groupe traité que dans le groupe témoin. A 72h, les patients ne ressentent plus de douleur dans les deux

groupes. Les micro-courants fournissent donc une protection significative contre les douleurs musculaires post-exercice.

Lambert M et al (Lambert et al. 2002) ont testé la récupération musculaire après induction à J0 d'une lésion (douleur sévère et inflammation) des muscles fléchisseurs du coude suite à un exercice excentrique intense du bras non dominant chez trente hommes volontaires. Un groupe de quinze personnes reçoit par la suite un traitement aux micro-courants au moyen d'un patch bioélectrique, tandis que l'autre moitié reçoit un patch placebo. Les patchs sont gardés en place 96h. Vingt-quatre heures après l'induction de la douleur, le groupe traité montre une amélioration significative de l'amplitude en flexion du coude ; à 48h la force volontaire maximale des fléchisseurs du coude était diminuée de plus de 25% pour le groupe placebo par rapport aux tests préliminaires à J0 alors que le groupe traité ne montrait aucun changement ; la Créatinine Kinase (CK) plasmatique qui est un marqueur de la modification de la perméabilité des cellules lors de souffrance musculaire était également significativement abaissée pour le groupe traité à J4, J5, J6 et J7. Les auteurs concluent que les micro-courants réduisent à court terme la sévérité des lésions musculaires induites à l'effort. Ils suggèrent que les mécanismes d'action devraient être en rapport avec le maintien de l'homéostasie intracellulaire de l'ion calcium dans les fibres musculaires lésées.

Plus récemment, en 2015, Da-Haeng et al (Da-Haeng Kang, Jae-Keun Jeon, et Joon-Hee Lee 2015) comparent trois groupes de douze personnes après un exercice intense induisant une fatigue, cette fois-ci du muscle erector-spinae : le premier reçoit un traitement aux micro-courants (0,3 Hz, 300 µA, 20 min) , le second un traitement aux courants TENS à fréquence élevée (80 Hz, 20 min), et le troisième, groupe témoin, juste du repos. Les résultats montrent une amélioration significative de la récupération post-effort pour le groupe traité aux micro-courants, avec une augmentation de la force de contraction volontaire maximale et de la tonicité du muscle erector-spinae par rapport au groupe témoin. En revanche, et contrairement à l'étude précédente, aucune différence significative n'était observée concernant les concentrations plasmatiques en CK ni en LDH.

c) Douleur et inflammation post-opératoire (Rexing et al. 2010)

Cette étude compare différentes techniques thérapeutiques qui ont pour but de réduire l'inflammation et l'œdème post-opératoires après une stabilisation chirurgicale du genou suite à la rupture du ligament croisé crânial chez le chien (technique extra-capsulaire). L'étude a été réalisée chez vingt-quatre chiens répartis en quatre groupes. Chaque groupe a bénéficié d'une des quatre techniques suivantes : un bandage de type Robert Jones pendant 72h (changé tous les jours) ; le même pansement compressif associé à une application de froid vingt minutes avec cold pack ; trois applications quotidiennes de froid (20 min) sans compression ; un pansement compressif associé à une thérapie aux micro-courants (F = 0,5 Hz, I = 400 µA, 7 min, protocole avec électrodes-stylets, à chaque changement de pansement). L'évaluation consistait à comparer des mesures de circonférences (cuisse, grasset, jambe, jarret). L'application de froid avec ou sans pansement ainsi que la thérapie par micro-courants associée au pansement réduisent la tuméfaction des tissus mous au bout de 72 heures de manière significative. Il est donc justifié d'avoir recours aux micro-courants en phase aiguë dans le but de réduire l'inflammation et la douleur en post-opératoire immédiat.

3. Stimulation électrique crâniale (CES): traitement de l'anxiété, de la dépression, des troubles du sommeil

Si la stimulation électrique crâniale (CES) est aussi souvent conseillée en application complémentaire dans le traitement des douleurs neurologiques (Kirsch 2006)(Frick 2007a), leur principal domaine d'application concerne les troubles du sommeil, l'anxiété et la dépression chez l'homme.

a) Chez l'homme

La CES est certainement la méthode de thérapie aux micro-courants qui a fait l'objet du plus d'études cliniques chez l'homme, et qui semble montrer le plus de résultats probants, notamment dans le traitement de troubles psychologiques. Nous ne ferons ici qu'en résumer les points les plus importants.

- <u>Anxiété</u>

  Plusieurs études démontrent l'efficacité de la thérapie crâniale par les micro-courants pour traiter l'anxiété de diverses origines. L'application de micro-courants (Stephen 1999) permet une diminution de l'électromyogramme ainsi que de la réponse électrodermique après une séance de 25 minutes chez des sujets atteints d'anxiété aigue. La stimulation électrique crâniale réduit significativement l'anxiété pré-opératoire (Lee 2013). Dans cette étude, le taux de cortisol circulant a été mesuré et il n'y a pas de différence significative entre le groupe témoin et le groupe traité par CES. La diminution de l'anxiété ne s'explique donc pas par une diminution de la cortisolémie. Deux méta-analyses confirment l'efficacité de la CES dans la prise en charge de l'anxiété chez l'homme (Klawansky et al. 1995)(Kirsch et Gilula 2007a)(Kirsch et Gilula 2007d).

- <u>Insomnie, dépression</u>

  Les résultats rapportés en ce qui concerne la dépression et les insomnies sont également favorables. Les résultats sont significatifs dès les 7-10 premiers jours de traitement, et une diminution de près de 50% de la valeur initiale des échelles de mesure du degré de dépression sont rapportées après 2 à 3 semaines de CES (Kirsch et Gilula 2007b)(Kirsch et Gilula 2007c)(Gilula et Kirsch 2005).

  Feusner et al. (Feusner et al. 2012) ont évalué les effets immédiats de l'électrothérapie crâniale (CES). L'hypothèse avancée serait que la CES interfère avec les ondes cérébrales, en particulier les ondes alpha, et entrainerait une diminution de celles-ci induisant une désactivation dans les régions thalamiques corticale et subcorticale. Un examen par IRM (Imagerie par Résonnance Magnétique) est réalisé en même temps que l'électrothérapie crânienne afin d'étudier la réponse cérébrale. Il résulte de cette étude que la CES induit une désactivation corticale, altère la connexion au réseau du mode par défaut, et perturbe le pattern des ondes cérébrales. Ceci expliquerait pourquoi la CES a des effets bénéfiques dans le traitement des insomnies et de la dépression même si le mécanisme exact n'est pas encore connu.

Enfin, la CES semble montrer également de bons résultats dans la prise en charge complémentaire de troubles liés au stress (« burning out », soldats en situation de guerre), des troubles de type psychosomatiques (fibromyalgies) et des troubles compulsifs en particulier les diverses addictions chez l'homme (Kirsch et Platoni 2007).

b) Chez l'animal

Les études concernant l'intérêt de la TMC dans le traitement du stress, de l'anxiété ou des troubles du comportement sont encore pratiquement inexistantes chez les animaux domestiques.

- **Etude chez le cheval** (Clarke, Mills, et Marchant 2000)

Une étude pilote d'électrostimulation crânienne (CES) chez le cheval a été réalisée sur 6 chevaux par Clarke N, Mills D et Marchant J (2000). Les électrodes ont été placées juste sous les deux oreilles en regard des articulations temporo-mandibulaires droite et gauche. Les résultats de l'étude ont montré un effet significatif dans le traitement du « wobbling head » (p-value < 0,02). Les résultats approchent la significativité en ce qui concerne le comportement de « quievering » ou frémissement de la lèvre.
Suite à ces résultats, une seconde étude a été menée par les mêmes auteurs sur 8 autres chevaux afin d'étudier l'effet des micro-courants sur différents comportements qui pourraient marquer un état de stress ou d'anxiété. Ont été observés et notés les comportements suivants : état d'alerte, assoupissement, mouvement de l'oreille, balancement de la tête, vocalisation, lèvre pendante, « headshaking ». Les résultats ont montré : 1) une diminution significative de l'état d'alerte et des phases d'assoupissement et ceci d'autant plus que l'intensité de stimulation est augmentée ; 2) Une diminution significative des vocalisations. Ce qui implique une diminution de l'état d'anxiété de ces chevaux.
Pour ces deux études, les électrodes collantes sont appliquées en regard des articulations temporo-mandibulaires. Les séances duraient vingt minutes, et l'expérimentateur notait les changements de comportement observés durant la séance (port des oreilles, lèvre tombante, mouvement de la tête,…). Le traitement a été réalisé sur trois jours avec une intensité croissante (J1 : 50µA ; J2 : 100µA et J3 : 200µA).
Il faudrait toutefois noter que dans ce cas les tests statistiques ne prennent pas en compte les variabilités individuelles en termes de comportement et que ces résultats peuvent montrer des variabilités importantes en fonction de l'individualité.

- **Observations cliniques**

Des observations cliniques de traitement avec succès de troubles de comportement chez le chien ou chez le cheval au moyen de CES sont rapportées par A. Frick (Frick 2007b). Notamment chez une jument de polo aux réactions violentes et dangereuses, un chien souffrant d'un syndrome de séparation et un autre présentant une anxiété se traduisant par des granulomes de léchage sévères des carpes. La CES était associée à une prise en charge en rééducation comportementale. Dans la majorité des cas l'appareil était laissé aux propriétaires pour des séances biquotidiennes d'abord puis quotidiennes de 20 minutes (60

minutes pour l'anxiété de séparation, puis diminution progressive à 20 puis à 10 minutes). Les résultats sont obtenus dans des temps relativement courts (2 à 4 semaines).

C. Mécanisme d'action des micro-courants

Lors d'application d'une thérapie aux micro-courants (TMC), le patient humain ne perçoit pas le courant, et aucune contraction musculaire n'est possible, car la quantité d'énergie nécessaire pour stimuler les fibres des neurones sensitifs ou moteurs est insuffisante (Mercola et Kirsch 1995).

En effet, nous avons vu plus haut que, contrairement aux courants d'ESNM conventionnels, les micro-courants se caractérisent par des durées d'impulsions particulièrement longues. Avec des courants conventionnels, de telles durées d'impulsions recruteraient les fibres nociceptives. Or, ceci ne peut pas se produire avec les micro-courants car l'intensité est mille fois plus faible, sous le seuil de stimulation des fibres nerveuses. Si on se réfère au diagramme montrant l'ordre de recrutement des différentes fibres nerveuses, il apparaît clairement que le niveau de stimulation des micro-courants est largement en deçà de celui des courants conventionnels, sous les courbes i – t des différents types de neurones (figure 5).

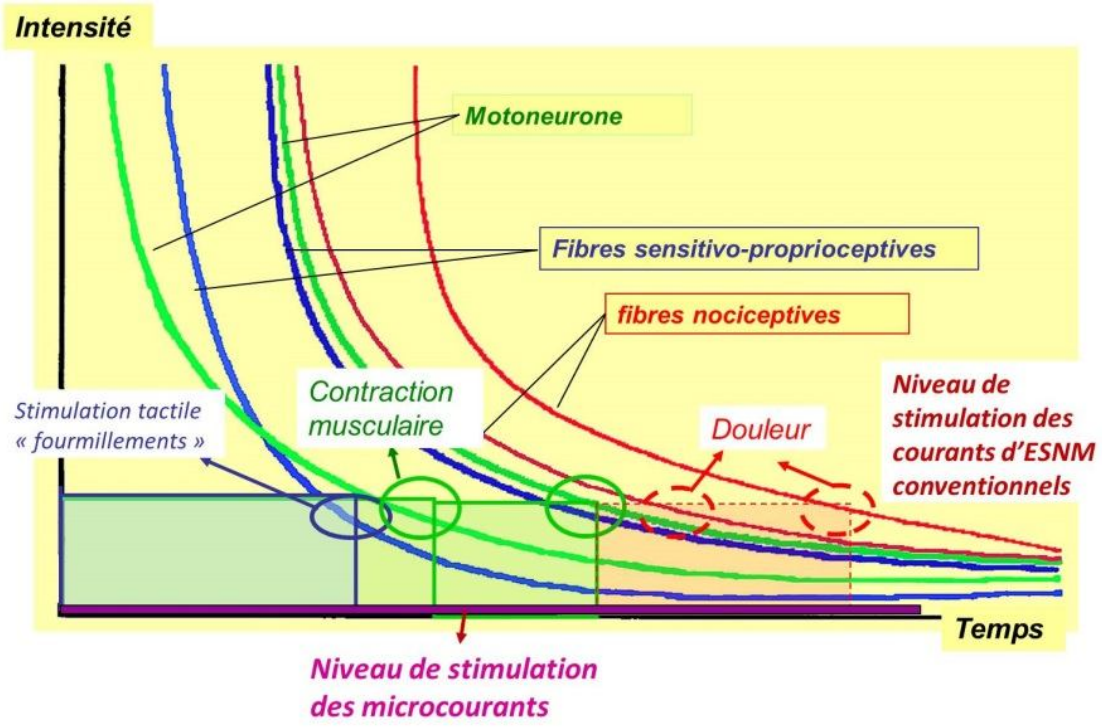


Figure 5 : Diagramme des courbes i-t des différents types de fibres nerveuses. Pour des durées d'impulsion très longues mais une intensité de l'ordre du µA, la quantité d'énergie (q=i*t) fournie par les micro-courants reste bien en deçà de la stimulation des fibres nerveuses. D'après (Sawaya, Combet, et Maellier 2010)

Donc les micro-courants ne stimulent pas les neurones en créant un potentiel d'action, et leur action n'est donc pas, à strictement parler, une stimulation « neuro-musculaire », ou en tout cas, pas dans le même sens que celui donné aux courants TENS ou d'EMS classiques.

1. Action sur la douleur

Les micro-courants étant en dessous du seuil de la perception kinesthésique, leur action ne peut être expliquée par la théorie du « gate control » de Melzack et Wall (1965), ni par l'activation des mécanismes des circuits inhibiteurs diffus neuronaux (CIDN).

Kirsch DL (Kirsch 2016b) transpose l'application de la loi de Arndt-Shultz (1888) bien connue en pharmaco-toxicologie, à la stimulation électrique : « *un stimulus de faible intensité excite une activité physiologique, un stimulus d'intensité modéré la favorise, un stimulus de forte intensité la retarde et un stimulus de très forte intensité l'arrête* ». Les micro-courants utilisés avec la bonne forme d'onde utilisent les fréquences de résonance qui activeraient les mécanismes modulateurs de la douleur centrale. Les cellules fabriquent des peptides qui se lient à des récepteurs d'autres cellules afin de communiquer. Ces ligands circulent dans le corps via les fluides extracellulaire et le système circulatoire. Un traitement par micro-courants agit de façon similaire aux ligands. Ils activent les récepteurs et envoient des messages aux cellules et produisent donc un effet similaire à l'action d'une grande partie de messagers chimiques.

Cette action pourrait se traduire par une libération d'opioïdes endogènes. C'est ce qui a été montré par le neurochirurgien N. Schealy et son équipe qui ont mis en évidence une forte augmentation des béta-endorphines dans le plasma (+ 98%) et dans le LCR (Liquide Céphalo-Rachidien) (+ 218%) d'une part, et de la sérotonine d'autre part (+ 15 à 40% dans le plasma et +50 à 200% dans le LCR) (Shealy et al. 1998). Ce qui expliquerait le fait que souvent les animaux, même les plus douloureux, traités avec des micro-courants sont apaisés et semblent s'assoupir après 10 à 15 minutes d'application, comme observé lors d'utilisation des TENS à très basse fréquence pour lesquels la libération d'endorphines a été également prouvée.

L'augmentation de la sérotonine circulante peut également être en relation avec la réduction de la douleur, et ceci à deux niveau :

- D'une part, par son implication dans la voie rétroactive inhibitrice qui entraîne la suppression des messages nocicepteurs au niveau de la moelle. La stimulation du raphé médian provoquerait la libération de la sérotonine au niveau médullaire inhibant les fibres C et stimulant des interneurones gabaergiques et enképhalinergiques, bloquant complètement la transmission du message nocicepteur au niveau du neurone de second ordre de la voie spino-thalamique. Cette libération de sérotonine par stimulation du raphé médian, a été mise en évidence suite à des stimulations électriques chez le rat (Millan 2002). La CES pourrait avoir le même effet.

- D'autre part, par le fait de son implication dans la régulation de l'humeur, donc dans la composante émotionnelle de la douleur.

L'action analgésique des micro-courants pourrait être également en rapport avec leur capacité à stimuler la cicatrisation, donc la guérison des tissus.

2. Cicatrisation

Les micro-courants ont montré des effets bien réels sur la cicatrisation de différents tissus. Cette efficacité est attribuée par certains à la **théorie de la bioélectricité** : il a été démontré que le courant électrique est l'amorce de tout processus de cicatrisation, de croissance et de régénération dans tous les organismes vivants. Les cellules peuvent être comparées à des micro-batteries produisant un courant de 4 picoampères (1 millionième du microampère). Ce courant « basal » cellulaire ferait partie des moyens de communication avec son entourage. Lors d'une atteinte, le tissu lésé émet des potentiels électriques anormaux associés à une perturbation de l'homéostasie intracellulaire. La réparation des blessures se fait en réponse à un signal venant d'un système de contrôle électrique, ce système devenant moins efficace avec l'âge. Les micro-courants mimeraient ce système et amorceraient le processus de cicatrisation. Cette théorie est évoquée dans les mécanismes de régénération de la queue ou de segments des membres amputés chez les lézards et certains amphibiens, mais n'a jamais fait l'objet de recherches scientifiques rigoureuses pour valider les arguments concernant les mécanismes des micro-courants (Lambert et Burgess 2004).

Nous avons déjà évoqué plus haut, le rôle important joué par les micro-courants dans l'attraction des fibroblastes dans la phase de granulation, puis des kératinocytes dans la phase d'épithélialisation lors du processus cicatriciel cutané. On peut également penser que l'effet piézo-électrique joue aussi un rôle important dans l'orientation des fibres de collagène, des fibres élastiques et des constituants de la substance fondamentale et des tissus de connexion. Ceci est en particulier important pour une meilleure qualité de cicatrisation des muscles, tendons et ligaments, et éventuellement même pour favoriser une régénération nerveuse lors de lésions neurologiques périphériques.

Une autre hypothèse, qui n'est pas incompatible - mais complémentaire - avec la précédente, a été néanmoins avancée quant aux effets des micro-courants sur la cicatrisation. Elle s'appuie sur des faits expérimentaux. L'électrothérapie aux micro-courants augmente la régénération de l'adénosine tri-phosphate (ATP) de presque 500% pour des intensités comprises entre 100 et 500 µA. Ils améliorent également la protéosynthèse et les transports d'amino-acides dans les zones traitées de plus de 35% par rapport au témoin. Une étude a montré une augmentation de la concentration en ATP de 5 fois par rapport aux valeurs initiales dans des cellules cutanées de souris soumises à un micro-courant de 500 µA (de 4,2 ± 0,8 micromoles/gr à 20,1± 2,2 micromoles/g). Une intensité supérieure provoque, au contraire, une chute de l'ATP (Cheng et al. 1982).

Afin de mieux comprendre ces hypothèses, il est judicieux de faire quelques rappels sur les phénomènes cellulaires qui se déroulent lors d'une blessure. Le traumatisme affecte le potentiel d'action des cellules se trouvant dans les tissus endommagés. Initialement, les tissus endommagés ont une résistance supérieure aux tissus sains environnant. Selon les bases de la physique, le courant électrique empreinte le chemin de moindre résistance et donc en périphérie de la zone lésée. La diminution de l'influx électrique diminue la capacitance de la cellule et donc le potentiel de cicatrisation. C'est pourquoi la réaction inflammatoire est nécessaire : le courant électrique circule mieux dans un tissu inflammatoire. Les micro-courants appliqués dès l'apparition de la plaie augmente le courant électrique endogène et donc permet aux cellules de garder leur capacitance. Les micro-courants seraient donc une aide dans l'initiation et le maintien de nombreuses réactions chimiques et électriques qui sont à l'origine du processus de cicatrisation. Enfin l'ATP est un facteur essentiel de la cicatrisation. De grandes quantités d'ATP sont nécessaires au bon fonctionnement de l'organisme, un tissu lésé est donc déficitaire en ATP. Les micro-courants augmentent sa

régénération et sa circulation, et donc permettent une cicatrisation des tissus (Lambert et Burgess 2004).

Les travaux de (Sugimoto et al. 2012) puis de (Banerjee et al. 2014) ont permis par des analyses des transcrits d'ADN de mettre en évidence que les micro-courants semblent stimuler l'expression de certains gênes, surtout ceux qui sont impliqués dans la synthèse de la substance fondamentale et la croissance cellulaire (TGF-b, Protéine G, FN1, IGF1, etc..). Il y a une activation intracellulaire par augmentation de la phosphorylation des récepteurs membranaires en particulier au niveau des mitochondries. Ce qui est bien en rapport avec une augmentation de l'ATP et donc de l'activité métabolique mitochondriale.

3. Action de l'électrostimulation crânienne (CES) sur les troubles psychiques

Le mode d'action des micro-courants lors d'électrothérapie crânienne est encore mal connu. Une théorie suggère que le courant alternatif de stimulation interfère avec les ondes cérébrales et introduit un bruit cortical (Feusner et al. 2012).

Lors d'application de micro-courants en CES, plusieurs actions peuvent se combiner pour contribuer à atténuer la douleur d'une part et réguler les déséquilibres de l'humeur d'autre part :

- Nous avons vu plus haut l'augmentation importante de la concentration de la sérotonine et des endorphines dans le LCR et le sang (ces dernières sont bien connues comme hormones du « bien-être ») (Shealy et al. 1998).
- Une désactivation des zones corticales avec des modifications comparables à celles des médications anxiolytiques. Ceci a été mis en évidence par des études d'Imagerie de Résonnance Magnétique (IRM) (Bystritsky et al. 2009).
- Les micro-courants induisent des modifications de l'électroencéphalogramme (EEG) mises en évidence dans plusieurs études. Ces modifications surviennent même après une seule séance de CES de 20 minutes à F = 0,5Hz. Il est observé une augmentation de l'activité alpha (plus grande relaxation), une diminution des activités delta (réduction de la sensation de fatigue) et béta (arrêt de la rumination des mauvaises pensées). L'action sur les ondes alphas est régulatrice (moins nombreuses, plus régulières en amplitude et en rythme) de la même manière que ce qui est observé lors de séances de méditation. L'EEG montre également que la CES induit le sommeil : l'endormissement est plus rapide et de meilleur qualité (augmentation de la phase 4 et ondes deltas) (Kennerly 2006)(Kirsch et Nichols 2013).

Kirsch D.L. propose le schéma général suivant : les micro-courants stimulent les noyaux du raphé médian, provoquant la libération de sérotonine. Cette dernière inhibe le système cholinergique et noradrénergique qui se projettent dans les zones supra-sensorielles. Ceci désactive l'activité cortico-thalamique (éveil, agitation), modifie la perception sensorielle et induit une activité EEG de type alpha. La sérotonine peut également intervenir directement pour moduler la sensation de la douleur (corne dorsale de la substance grise), et modifier les composantes cognitives et émotives de la douleur dans le système limbique du cerveau.

III. Effets indésirables, indications et contre-indications des micro-courants

A. Effets indésirables des micro-courants

Les effets indésirables liés à l'application des micro-courants sont très rares et bénins. Chez l'homme des maux de tête, des douleurs musculaires cervicales, de légers vertiges, nausées ont pu être rapportés par des patients ayant eu des traitements de CES. Ces gênes disparaissent quand l'intensité du courant est diminuée (Kirsch 2002). Sur plus de 6000 patients ayant été inclus dans 126 études (dont environ 4500 ayant suivis une thérapie CES), 9 personnes (0,2%) ont présenté des migraines myogéniques, et 5 (0,11%) des irritations cutanées (Kirsch et Platoni 2007). Chez les animaux aucun effet indésirable n'a été rapporté.

B. Indications de la thérapie aux micro-courants

De par leur innocuité et leurs propriétés, les micro-courants peuvent être indiqués dans de nombreuses affections, seuls, ou en tant que thérapeutique complémentaire. Trois grands groupes d'indications ressortent :

- La douleur aigue ou chronique et de diverses origines ;
- La cicatrisation des tissus (peau, tendons, ligaments, muscles, et os)
- Les troubles du comportement et psychologiques : anxiété, dépression, insomnie, troubles compulsifs et addictions.

Les connaissances et les données en matière de thérapie par les micro-courants en médecine vétérinaire sont encore très ténues pour pouvoir déterminer des indications précises et spécifiques pour les animaux.

Dans l'état actuel des connaissances, on peut considérer que les principales indications vétérinaires se superposent de façon générale aux principales indications proposées chez l'homme.

C. Contre-indications à l'utilisation des micro-courants

Deux conditions sont considérées comme des contre-indications majeures des micro-courants chez l'homme (Kirsch et Platoni 2007):

- En regard des pacemakers
- Chez les femmes enceintes. Aucune toxicité fœtale ni d'anomalie congénitale n'ont été mises en évidence dans une étude chez des fœtus de rats soumis une heure par jour à des micro-courants tout au long de la gestation et à des fréquences différentes. Seul le groupe traité à une fréquence de 1000 Hz a montré un nombre plus important de résorptions fœtales (Little et Patterson 1996). Cette fréquence est de 600 à 2000 fois plus élevée que les fréquences utilisées en pratique en TMC. Mais le principe de précaution incite à ne pas utiliser les micro-courants chez la femme enceinte ou l'animal gestant.

Suivant le même principe, il n'est pas recommandé d'utiliser les micro-courants en regard du sinus carotidien afin d'éviter les risques d'hypotension. Des précautions doivent être prises chez le malade hypertendu traité avec des antihypertenseurs.

Enfin, vu l'effet des micro-courants sur l'ossification des cartilages de croissance, il peut ne pas être indiqué de les appliquer en regard des épiphyses osseuses chez le très jeune animal en croissance.

Le tableau IV résume les principales indications et contre-indications des micro-courants d'après (Kirsch 2016a)(Kirsch 2016b).

Tableau IV : Indications et contre-indications de l'application de micro-courants. Adapté de (Kirsch 2016b)

Indications	Contre-indications
Douleur systémique (arthrose, cancer,...) Douleur tête et cervicales Douleur abdominale Douleur des extrémités Douleur du dos Douleurs neurogènes Lutte contre l'inflammation et l'œdème post-opératoire Cicatrisations (cutanées, tendineuses, ligamentaires, osseuses, musculaires) Anxiété Dépression	Gestation Pacemaker

IV. Utilisation pratique des micro-courants en physiothérapie vétérinaire

A. L'appareil

Il n'existe pas actuellement, et à notre connaissance, de générateurs à micro-courants spécifiques pour un usage vétérinaire. Comme pour l'ESNM conventionnelle, on peut très bien utiliser les appareils à usage humain. Toutefois, à l'heure actuelle il n'existe aucune étude qui permet de sélectionner des paramètres qui seraient éventuellement spécifiques aux animaux domestiques ou d'établir des protocoles adaptés à chaque espèce.

Il existe des appareils portables spécifiquement conçus pour la thérapie aux micro-courants, tels que l'Alpha-Stim M ® (Epi, Mineral Wells, USA) utilisé dans notre étude (Figure 6). Des micro-courants avec ou non des protocoles préprogrammés pour différentes affections sont également proposés sur certains générateurs plus complets proposant différents types de formes de courants et diverses modalités d'ESNM. Ces derniers sont des unités en général plus volumineuses (pour cabinets) et plus onéreuses.

Figure 6 : Appareil Alpha Stim M® (Epi, Mineral Wells, USA) à gauche et le Stim intelect Mobile Chattanooga (DJO, LLC, 1430 Decision street, Vista, CA 92081) avec des programmes préprogrammés

B. Les électrodes

Les micro-courants peuvent être appliqués de trois manières différentes avec trois types d'électrodes (Electromedical Products International, Inc., s. d.).

- **Electrodes classiques utilisées en ESNM conventionnelle (figure 7)**. Elles sont appelées électrodes « As-trode » pour l'appareil Alpha-Stim ® (Electromedical products International 2013). Elles peuvent être autocollantes ou en silicone ou en carbone découpées dans un ruban d'électrodes au mètre. Dans ce dernier cas, il est nécessaire d'appliquer un gel conducteur entre la peau et l'électrode pour établir le contact. Idéalement la peau devrait être tondue et dégraissée à l'alcool. Ceci est obligatoire avec les électrodes autocollantes pour assurer le passage correct du courant d'une part, ainsi que chez les chiens avec un poil fortement isolant d'autre part. Dans le cas où le poil est peu épais ou dans les zones où le poil est épars, il est possible d'appliquer, sans tondre, les électrodes en silicone sur une couche épaisse de gel. Ces électrodes sont les plus polyvalentes. Elles peuvent être utilisées dans les principales indications (douleurs, cicatrisations), sur diverses zones, et selon différentes dispositions (longitudinale, transversale).
- Electrodes pour électrothérapie crânienne « ear-clip » (Figure 7) : elles s'attachent sur chaque lobe des oreilles du patient après avoir versé quelques gouttes de solution conductrice sur l'embout prévu à cet effet. Ces électrodes sont destinées au traitement des migraines, des insomnies, et troubles du comportement, mais aussi en traitement complémentaire dans le traitement de douleurs et affections neurologiques.
- Electrodes en stylet ou « smart probes » (Figure 7) : elles sont préconisées pour des applications intermittentes de courte durées (10 secondes répétées 6 à 10 fois) de part et d'autre de la zone douloureuse (surtout articulaire) selon un schéma précis.

Figure 7 : Electrodes "As-trode", "Ear-clip" avec un exemple d'application, "Smart-probe" respectivement (Electromedical Products International, Inc., s. d.)

C. Autres dispositifs d'application de micro-courants

1. Electrodes équipées d'une batterie autonome

Deux électrodes autocollantes sont reliées par un petit câble connecté à une mini-batterie (Figure 8). Une fois les électrodes en place, connectées à la batterie et entre elles, le courant se met en place . Un petit voyant permet de vérifier que le courant circule bien entre les deux électrodes. La fréquence et l'intensité du courant délivré sont fixes et non modifiables (Intensité : 42 µA, fréquence non spécifiée). L'autonomie de la batterie est théoriquement de 300 heures. Le pouvoir autocollant des électrodes est assez fort, ce qui permet de les maintenir en place sous un pansement par exemple, pour de très longues durées de traitement. Ce dernier peut être en continu, ou par sessions de 20 à 30 minutes ou de plusieurs heures (il suffit de débrancher le câble d'une des électrodes).

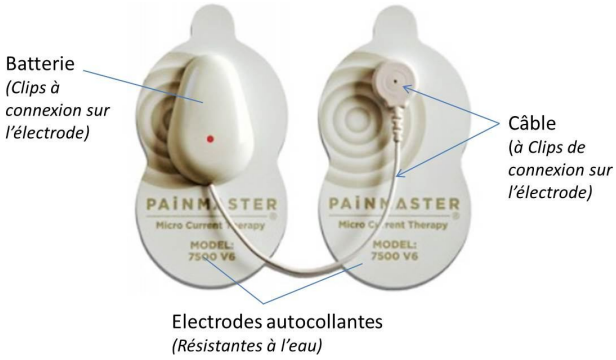


Figure 8 : Dispositif d'électrodes et mini-batterie incorporée Painmaster® (Newmark, Connecticut, USA)

Ce dispositif, peu onéreux (environ 30 €), est assez pratique pour des traitements de longues durées, et peuvent être prescrits par le vétérinaire pour une application à la maison par les propriétaires de l'animal. Son principal défaut réside dans le fait que le câble est très court (15 cm avec les clips), ce qui réduit les possibilités de positionnement des électrodes, mais aussi et surtout les possibilités d'utilisation chez les animaux de très grande taille.

Actuellement aucune étude scientifique référencée n'évalue l'éfficacité de ce dispositif, mais des effets bénéfiques notables ont été observés dans plusieurs cas cliniques de douleurs neurogènes chez le chien (sciatalgie, protrusions discales lombo-sacrale) et notamment chez un chat ayant eu subit une neurolyse chirurgicale du nerf sciatique. Ce type dispositif pourrait être en particulier intéressant dans le traitement de l'hyper-photosensibilité avec névralgie du nerf trijumeau chez le cheval (S. Sawaya, Service de Physiothérapie-Rééducation-Ostéopathie, Vetagrosup ; communications personnelles).

2. Pansements générateurs de micro-courants (« bioélectriques)

Il existe un pansement générateur de micro-courants destiné à stimuler la cicatrisation des plaies (Procellera ® Vomaris Wound Care Inc. Tempe, Arizona, USA). Il se présente sous la forme d'une plaque de polyester flexible découpable selon la taille et la forme de la zone à traiter, et contenant des microcapsules d'oxydes de zinc et et d'argent (Figure 9). Elle est appliquée contre la plaie à travers un gel. Au contact du milieu humide de la plaie (exudat inflammatoire, gel de contact), les microcapsules de zinc et d'argent jouent le rôle de micro-piles et diffusent des micro-courants (réactions d'oxydo-réduction). L'ensemble doit être recouvert d'un pansement de façon à préserver le milieu humide nécessaire à la production et diffusion des micro-courants. Le montage doit être changé tous les 7 jours. Une version à usage vétérinaire est sur le marché. L'intérêt de la biolécetricité dans le traitement des plaies a fait l'objet de plusieurs études dont celles de (Varhus 2014) et de (Harding et al. 2012) chez les animaux.

Figure 9 : Pansement bioélectrique Procellera® (Vomaris Wound care Inc. Tempe, Arizona, USA). (http://animalcare.procellera.com/)

D. Positionnement des électrodes

Les **électrodes « earclips »** se placent chacune sur un « oreillon » au niveau du sac cutané marginal de l'oreille chez les carnivores domestiques et chez le cheval.

Les électrodes-stylets, sont utilisées pour réaliser un traitement en X ou en étoile autour de la zone à traiter, en changeant la position des électrodes toutes les 10 secondes. Pour les traitements du rachis, il est préconisé de placer les électrodes ou les stylets de part et d'autre de la colonne vertébrale et d'alterner avec des dispositions en croix de part et d'autre du segment douloureux. Pour le traitement d'une articulation il est recommandé, en plus du traitement local croisant l'articulation, d'associer à des dispositions sur le membre contralatéral (Figure 10). Mais aucune indication spécifique ou précise du point de vue anatomique n'est donnée concernant les points d'application.

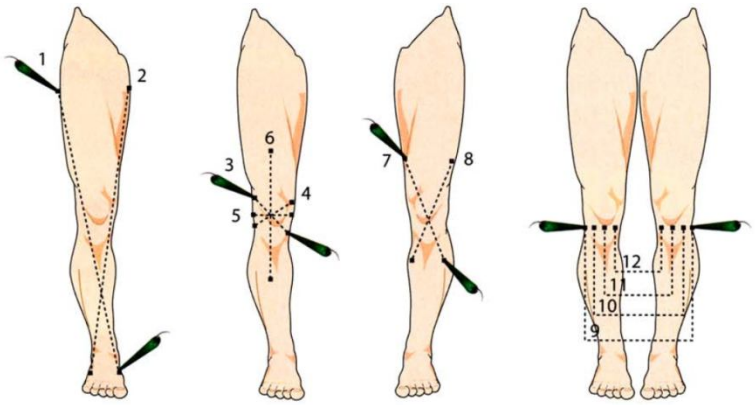


Figure 10 : Placement des électrodes stylets pour le traitement des douleurs du genou selon (Kirsch 2006)

Chez les animaux Kirsch DL et Frick A recommandent un protocole de traitement comparable à celui préconisé chez l'homme avec les stylets avec plusieurs phases d'applications (Frick 2007a)(Kirsch et Frick 2005) :

- 1) Croisement en X proximo-distal et crânio-caudal.
- 2) Traitement local en étoile de part et d'autre du segment vertébral ou de l'articulation affectée.
- 3) Application en X proximo-distale sur le membre ou le côté du rachis contro-latéral.
- 4) Application par points symétriques entre les membres ou les segments vertébraux droit et gauche.
- 5) Terminer par 15 à 20 minutes d'application transcranienne avec les earclips.

Les figures 11, 12 et 13 montrent les sites d'applications préconisés chez le cheval.

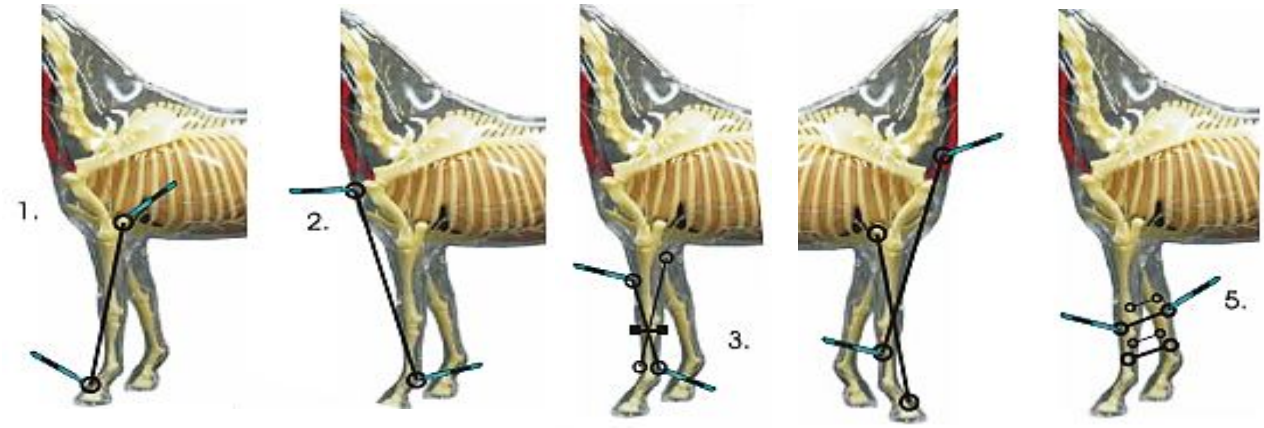


Figure 11 : Positions des électrodes-stylets pour le traitement d'une affection du membre thoracique, ici exemple du carpe d'après (Kirsch et Frick 2005). 1 et 2 : applications en X proximo-distales du membre affecté ; 3 : traitement en étoile autour du carpe ; 4 : applications en X proximo-distales sur le membre controlatéral ; 5 : applications symétriques point par point de part et d'autre des carpes droit et gauche.

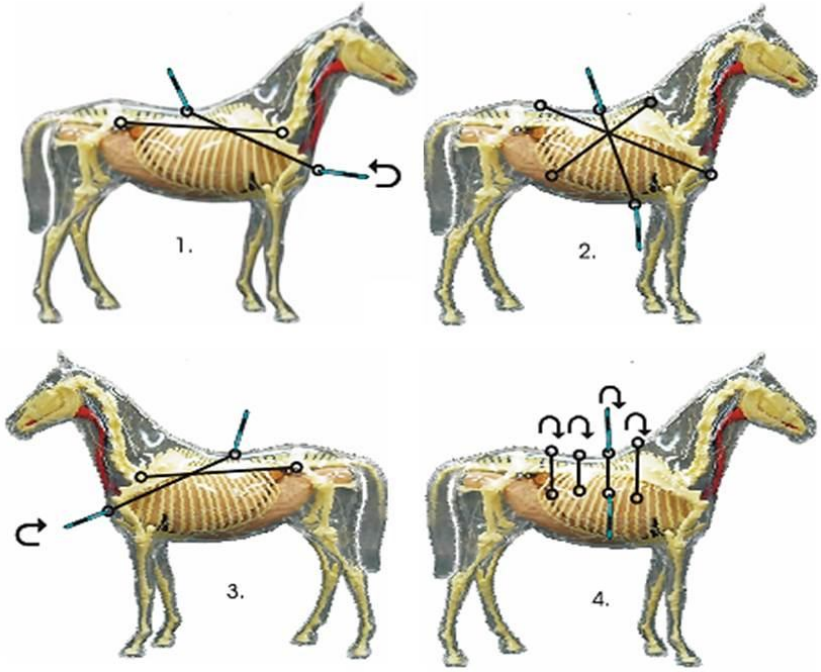


Figure 12 : Positions des électrodes-stylets pour le traitement d'une douleur vertébrale d'après (Kirsch et Frick 2005). 1 : applications en X crânio-caudales et homolatérales de part et d'autre du segment affecté ; 2 : traitement en étoile homolatéral autour du segment affecté ; 3 : applications en X crânio-caudales et symétriques à 1 du côté controlatéral ; 4 : applications symétriques point par point de part et d'autre de l'axe vertébral.

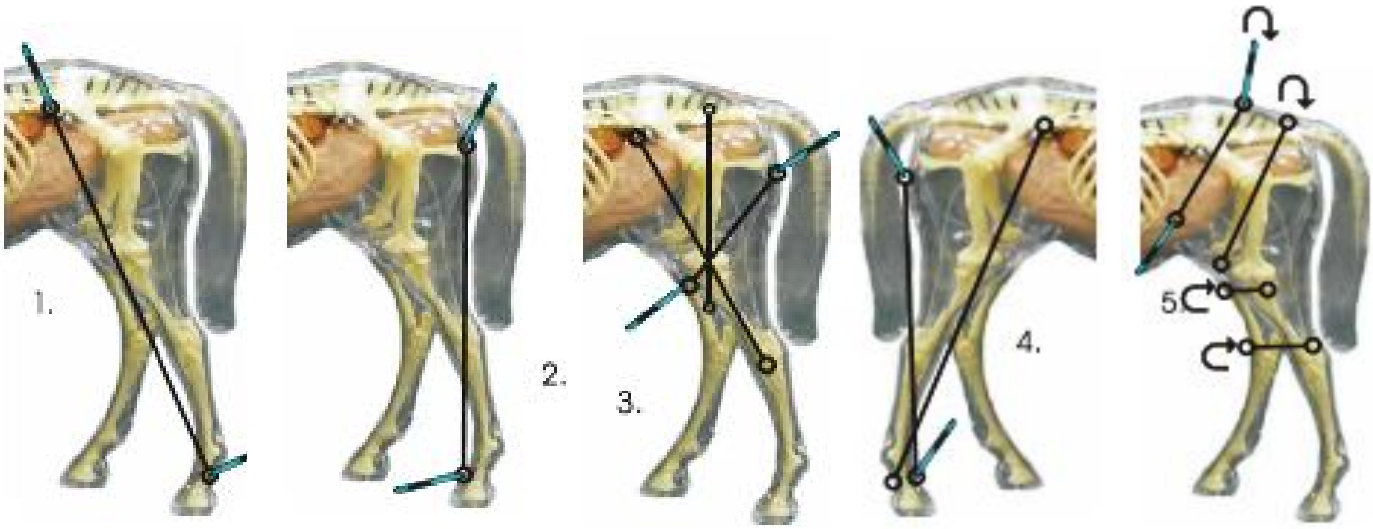


Figure 13 : Positions des électrodes-stylets pour le traitement d'une douleur du grasset gauche d'après (Kirsch et Frick 2005). 1 et 2: applications en X proximo-distales de part et d'autre du genou affecté ; 3 : traitement en étoile autour du grasset douloureux ; 4 : applications en X proximo-distales sur le membre controlatéral (droit) ; 5 : applications symétriques point par point de part et d'autre des grassets gauche et droit.

Les électrodes classiques ne devraient, pas selon (Kirsch 2006), être placées juste de part et d'autre de la zone douloureuse comme dans le cas des courants TENS classiques. Il préconise, pour de meilleurs résultats, de les placer en croix de part et d'autre de l'articulation douloureuse ou du segment vertébral (une électrode du côté droit, l'autre du côté gauche) en utilisant au moins deux voies. De même qu'avec le protocole utilisant les stylets, il recommande de compléter le traitement local par un traitement croisé avec le membre opposé, comme montré sur la figure 14 pour le traitement d'un genou douloureux.

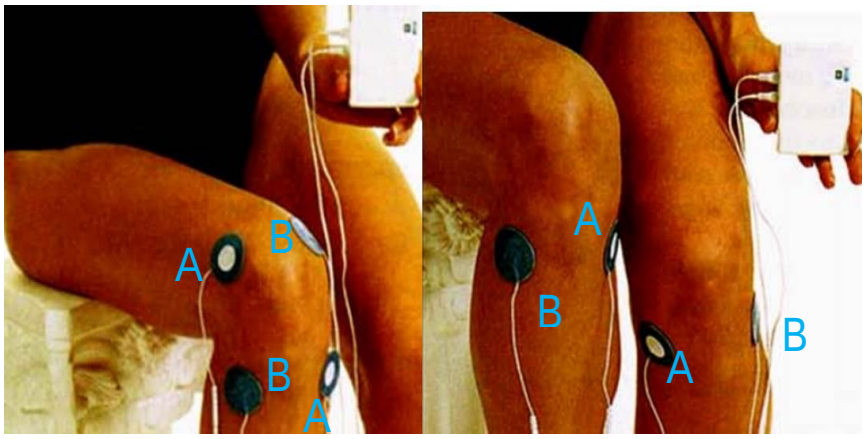


Figure 14 : Placement recommandé des électrodes dans le traitement de douleur du genou chez l'homme. A gauche : les deux voies A et B sont croisées de part et d'autre du genou affecté en position proximo-distale. A droite : les voies relient symétriquement les deux genoux droit et gauche. (D'après (Kirsch et Frick 2005))

Chez les animaux le même principe est préconisé par Frick A. (2005, 2007a), tant pour le traitement des plaies que pour le traitement des douleurs.

Dans les deux cas aucune précision anatomique n'est donnée quant au placement des électrodes.

En réalité, il existe différentes possibilités de placement des électrodes pour les courants TENS, et qui peuvent être différentes selon si on a affaire à des courants à fréquence élevée (sous le seuil de contraction musculaire) ou à des courants de très faible fréquence (au-dessus du seuil de la contraction musculaire). Les meilleurs résultats sont ceux obtenus quand les électrodes sont placées en regard de points anatomo-physiologiquement remarquables : points moteurs, terminaisons nerveuses, trajet superficiel d'un nerf, plexus nerveux, plexus vasculaires, point d'acupuncture (Guérin 2011)(Sawaya 2013c). Ces points sont certainement intéressants pour l'application des micro-courants.

E. Application sur les points d'acupuncture et électro-acupuncture

Le principe de « bioélectricité » sur lequel s'appuie la théorie des micro-courants se rapproche de celui de l'acupuncture de la Médecine Traditionnelle Chinoise (MTC). Il a déjà été montré que les points d'acupuncture sont des points où l'impédance cutanée est plus faible, et donc de plus grande conductivité électrique (Reichmanis, Marino, et Becker 1975). Il est bien établi aujourd'hui que la majorité des points d'acupuncture correspond aux points moteurs bien connus en physiologie neuromusculaire (67% environ, appelés points d'acupuncture de type I selon (Hwang 1994), et la très grande majorité des autres points sont en rapport avec des terminaisons nerveuses ou des zones de grande densité de fibres nerveuses, comme les organes tendineux de Golgi à la jonction entre le corps charnu et le tendon d'un muscle (Hwang 1994)(Schoen 2000). L'ordre de grandeur des micro-courants se rapprocherait plus de celui des courants « bioélectriques » du corps.

Les points d'acupuncture sont anatomiquement identifiables et leur localisation est reproductible, ils sont reconnus pour leur activité électrique spécifique, sont situés sur des circuits bioélectriques qui pourraient correspondre, au moins en partie, aux canaux énergétiques de la MTC connus sous le nom de « méridiens ». Sachant que les courants TENS conventionnels ont déjà montré leur efficacité quand ils sont appliqués sur les points d'acupuncture, dans divers traitements de la douleur, en particulier dans les lombalgies chroniques chez l'homme (Gadsby et Flowerdew 2007), il serait logique de penser qu'une stimulation de ces points précis que sont les points d'acupuncture au moyen des micro-courants serait aussi pertinente et pourrait améliorer leur potentiel bénéfice.

C'est sur ce principe que nous nous sommes basés pour la disposition des électrodes dans notre étude expérimentale (voir chapitre 2).

Aucune donnée référencée n'existe actuellement sur l'utilisation des micro-courants directement sur les points d'acupuncture ou par l'intermédiaire d'aiguilles implantées sur ces points chez les animaux. Cette technique a l'intérêt d'être plus facilement tolérée par les animaux domestiques que les courants d'électro-acupuncture classiques, qui sont de l'ordre du milliampère, en particulier chez les animaux hyper-algiques, et lors affections neurologiques (Figures 15,16 et 17) (S.Sawaya, communications personnelles).

Figure 15 : Ce jeune chat abyssin a subi une neurolyse chirurgicale suite à un abcès qui a englobé et comprimé son nerf sciatique gauche. En phase post-opératoire immédiate, des micro-courants en patch Painmaster® ont été appliqués de part et d'autre de la zone opératoire tuméfiée, chaude et hyperalgique.
Par la suite, des séances d'électro-acupuncture ont été réalisées en clinique pour favoriser la régénération nerveuse, tandis que les propriétaires continuaient à appliquer les patchs Painmaster® sur les points d'acupuncture en rapport avec le trajet du nerf sciatique. (S. Sawaya)

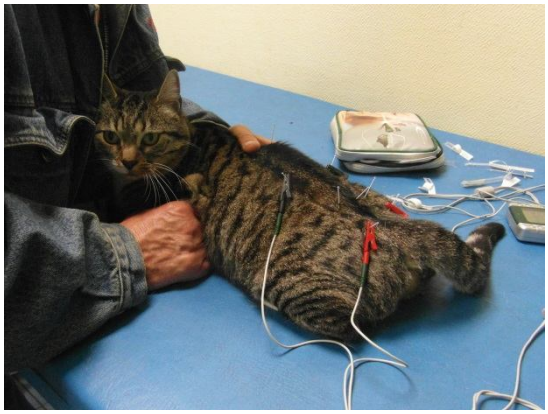


Figure 16 : Cette jeune chatte a été opérée suite à une hernie discale (hémilaminectomie L2-L3). Elle a suivi des séances de physiothérapie (kinésithérapie passive, active, laser, acupuncture, électro-acupuncture avec micro-courants). Elle a récupéré une locomotion Autonome 1,5 mois post-opératoire environ. La persistance d'une légère incontinence fécale a ensuite été traitée par acupuncture et électro-acupuncture (photo). (S.Sawaya)

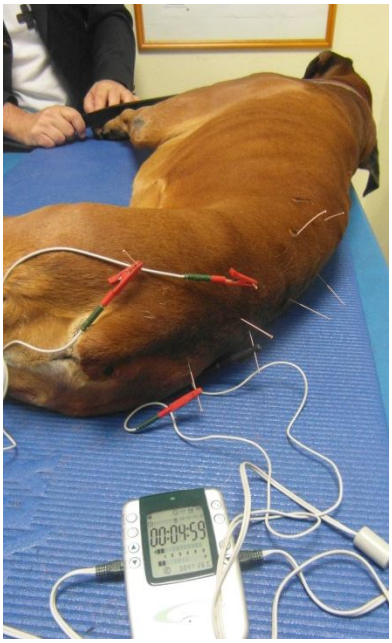


Figure 17 : Utilisation de l'acupuncture et de l'électro-acupuncture aux micro-courants dans le traitement d'un boxer souffrant d'un syndrome de la queue de cheval avec légère incontinence urinaire (en association avec des techniques de thérapies manuelles). Chez ce chien, une seule séance a suffi pour faire pratiquement disparaître les signes d'incontinence pendant plus de 6 mois. (S.Sawaya)

F. Choix des paramètres

Les appareils générateurs de micro-courants actuellement sur le marché permettent à l'opérateur d'intervenir sur 2 paramètres du courant : sa fréquence et son intensité.

La fréquence de stimulation : Dans la grande majorité des indications, la fréquence recommandée est de 0,5 Hz. Des fréquences plus élevées (100 Hz) auraient des effets plus rapides mais beaucoup moins durables. Elles sont préconisées plus particulièrement lors d'états inflammatoires, surtout pour débuter les premières minutes d'un traitement avant de revenir aux très basses fréquences (Kirsch 2006)(Frick 2007a). Le fabricant de l'appareil Alpha-Stim® recommande de sélectionner une fréquence de 1,5 Hz lors d'utilisation d'électrodes autocollantes (Electromedical products International 2013). Ces préconisations se rapprochent quelque peu de celles pour les courants TENS conventionnels suite à des résultats expérimentaux : effets rapides et de courte durée pour les fréquences élevées (50 à 100 Hz) utilisées pour le traitement des douleurs aigues ; effets retardés et de longue durée avec les très basses fréquences (2-4 Hz). A la différence que les fréquences élevées sont plutôt préconisées pour les conditions chroniques dans le cas de micro-courants (Kirsch 2006)(Frick 2007a). Néanmoins, aucune étude référencée ou accessible ne vient à l'appui de ces recommandations pour les micro-courants.

L'intensité de la stimulation : Chez l'homme, Kirsch DL (2006) préconise d'augmenter progressivement l'intensité jusqu'au maximum confortable pour le patient (entre 300 et 600 µA). Donc, bien que les micro-courants soient théoriquement imperceptibles, il semble qu'il puisse exister des intolérances individuelles.

Chez les animaux domestiques, Ava Frick (2007a) donne les précisions suivantes :

- Dans le cas des électrodes autocollantes, l'intensité peut être élevée jusqu'à 400 ou 600 microampères. Les animaux très jeunes ou de très petit format peuvent ne pas supporter le courant, dans ce cas il convient de ramener l'intensité à 100 microampères. Pour les traitements de très longue durée (> 1 heure), des intensités faibles sont requises : 50 ou 100 microampères.
- Avec les électrodes-stylets, l'intensité classique utilisée chez le chien et le chat est de 600 microampères. Cette valeur n'est souvent pas bien tolérée chez le cheval, chez lequel il convient de la diminuer jusqu'à la valeur maximale confortable.
- Pour la thérapie crânienne, les intensités préconisées se situent entre 100 et 300 microampères. Chez le chat et le cheval elle conseille de débuter à 50 microampères puis d'augmenter graduellement jusqu'à 150 microampères. Chez le chien les intensités recommandées sont entre 200 et 300 microampères.

Dans le cas d'électro-acupuncture avec les micro-courants, l'intensité doit être maximale mais confortable. En général cela correspond au moment où apparaît un battement très léger des aiguilles au rythme de la fréquence choisie (S.Sawaya, communications personnelles).

Au final, quelle que soit la méthode utilisée, il convient de toujours augmenter progressivement l'intensité du courant et par palier pour laisser le temps à l'animal de s'habituer. Plus particulièrement chez le cheval qui paraît être plus sensible aux micro-courants, il faut bien observer son attitude et son expression, tout au long du protocole afin d'adapter de façon optimale les paramètres.

G. Durée et rythme des séances ; durée totale du traitement

Dans le cas des protocoles d'application avec les électrodes-stylets, la durée d'une séance peut être très courte (quelques minutes chez un animal de petite taille à une dizaine de minutes chez un cheval).

La durée d'une électrothérapie crânienne peut varier entre 20 et 60 minutes (Frick 2007a). Il est préférable de commencer par des premières séances courtes (minimum 20 minutes) puis d'augmenter progressivement la durée. Chez le chien, une durée de 60 minutes est préconisée pour le traitement des désordres compulsifs et l'anxiété de séparation.

La durée d'une séance de TMC par application avec des électrodes classiques est également de de 20 à 60 minutes (Frick A, correspondances personnelles). Elle s'établit en fonction de la douleur à traiter.

Avec les électrodes avec batterie autonome, la stimulation peut être continue, plus de 24 heures, à condition que les électrodes restent en place (protégées avec un pansement).

Il n'existe pas de données objectivées par des études expérimentales concernant la durée d'une séance, le rythme et le nombre de séances optimaux. Ils seront conditionnés par l'évaluation régulière du patient. Les séances peuvent se faire une ou deux fois par jour pour une douleur modérée à sévère sur une durée plus au moins déterminée, qui sera choisie en fonction de la réponse à l'électrothérapie.

Au bilan, les micro-courants apparaissent bien différents des courants d'ESNM conventionnels.

Ils en diffèrent par :

- Leurs paramètres se caractérisant par une durée d'impulsion très longue et une intensité micrométrique, ainsi que par une fréquence de stimulation très basse. Ces particularités les rapprochent plus des courants bioélectriques naturels.

- Leur mode d'action : ils ne sont pas perçus par le patient et ne déclenchent pas de contraction musculaire ;

- Leurs modalités d'application.

Les études en laboratoire et chez l'homme montrent des résultats très encourageants notamment dans les domaines de la cicatrisation des tissus, du traitement de la douleur et de certains troubles psychiques. Un autre avantage des micro-courants est qu'ils ne montrent pratiquement pas d'effets indésirables et aucune nocivité. Mais leurs mécanismes d'action sont encore assez mal connus.

Néanmoins, les micro-courants sont encore très peu utilisés en médecine vétérinaire, domaine dans lequel les données et les études sont encore extrêmement rares sur le sujet.

Dans la seconde partie de ce travail nous nous proposons d'apporter une contribution à la connaissance des micro-courants en pratique vétérinaire par l'étude de leurs effets sur la sensibilité dorsale chez le cheval.

Chapitre 2 : PARTIE EXPERIMENTALE. EVALUATION DES EFFETS D'UN PROTOCOLE DE THERAPIE PAR LES MICRO-COURANTS SUR LA SENSIBILITE DORSALE CHEZ LE CHEVAL

Ce travail a été réalisé avec le consentement éclairé de tous les propriétaires de chevaux. Le protocole a été validé par le Comité d'éthique de VetagroSup sous le numéro 1637, en date du 15 septembre 2016.

I. Animaux, matériel et méthode

A. Les chevaux

Dix chevaux, âgés de 5 à 17 ans et de races variées, appartenant à des particuliers, ont pris part à l'étude (Tableau V). Ils vivent soit en box la nuit avec sortie en paddock individuel la journée soit au pré. Ils ont tous une activité régulière sportive plus ou moins intensive. Ils sont nourris au foin à volonté et aux concentrés. Ils sont correctement vaccinés et vermifugés.

Au cours de notre étude, aucun cheval n'a présenté de maladie, d'affection locomotrice ou bénéficié d'un éventuel traitement qui aurait pu avoir un quelconque effet sur nos résultats.

Tous les chevaux ont fait partie des deux groupes de l'étude à des instants différents :

- Un groupe ayant reçu le traitement aux micro-courants ;

- Un groupe témoin, ayant eu des séances placebo.

Tableau V : Liste des chevaux faisant partie de l'étude

Nom	Race	Age (ans)	Activité
Jingle de la Motte	Poney français de selle	17	CCE, loisir
Nerys des Landes	Selle français	13	CSO, loisir
Aqua	Trotteur français	5	Loisir
T'inquiète	Trotteur français	8	CSO, loisir
Rocco	Pure race espagnole	10	Equitation de travail, loisir
Jeanmat	Selle français	17	Loisir
Syrmane	Arabe	8	Loisir
Via la Goutelle	Selle français	5	CSO, loisir
Jonquille	Selle français	17	Loisir
Roxy	ONC	9	Loisir

B. Matériel et méthode

1. Le stimulateur et les électrodes

L'appareil utilisé pour l'électrothérapie est un **Alpha-Stim® M** (*EPI, Mineral Wells, USA*) mis à notre disposition par la société Atlantis Medical Systems (1bis rue des amandiers, 33520 Bruges) pour la durée de l'étude (Figure 18). C'est un appareil haut de gamme, petit, léger et portable, fonctionnant à l'aide de deux piles 1,5 volt AA. L'appareil est agrée par la FDA des Etats Unis et certifié CE.

L'Alpha-stim® délivre des micro-courants sous forme d'une onde carrée bipolaire à une intensité variant entre 0 et 600 microampères, par incréments de 50 microampères. Le choix entre trois fréquences de stimulations est possible : 0.5, 1.5 ou 100 Hz.

Figure 18 : Alpha Stim® M (Epi, Mineral Wells, USA) (Nuellas S)

Des électrodes souples de 6 x 5cm ont été découpées dans un ruban-électrode en élastomère au mètre (*Mazet Medical Distribution, 69120 Vaux-en-Velin, France*) (Figure 19). Le choix de ce type d'électrode a été justifié par le fait que :

- Ces électrodes sont les plus adaptées à la pratique de l'électrothérapie en physiothérapie vétérinaire, et plus particulièrement en exercice équin. En effet, les électrodes autocollantes (à patient unique) sont surtout adaptées à la peau humaine. Elles perdent leur pouvoir autocollant et conducteur après quelques utilisations seulement chez les animaux, même sur une peau tondue, et à fortiori chez le cheval avec la poussière et diverses particules inhérentes aux centres équestres. Les électrodes en élastomère ou carbone, sont facilement lavables et réutilisables indéfiniment. Elles nécessitent toutefois l'adjonction d'un gel conducteur.

- Elles présentent une moindre résistivité au courant (Nolan MF 1991), ce qui offre un meilleur confort de stimulation.

- Elles permettent d'adapter la taille et la forme des électrodes à chaque type d'utilisation et zone à traiter.

Figure 19 : Electrodes en élastomère au mètre, EKO-Gel® utilisés (Sawaya S)

En l'absence d'études spécifiques concernant la taille optimale des électrodes pour l'application des micro-courants, nous avons adopté les préconisations inhérentes à celles de l'électrostimulation neuro-musculaire « classique ». La taille des électrodes utilisées correspond à un bon compromis entre le confort du cheval et la stimulation de points précis du dos du cheval (voir paragraphe suivant) (Dumoulin J et Bisschop G 1980)(Rocques CF 1997) (Crépon et al. 2007)(Crépon 2009b).

2. Disposition des électrodes

Les électrodes sont disposées de part et d'autre du segment vertébral qui s'est révélé le plus sensible aux examens palpatoire et algométrique avant la séance à J0. Deux voies sont mises en place symétriquement, une sur la masse dorso-lombaire droite, et l'autre à gauche.

Chaque électrode est placée précisément en regard du point d'émergence du rameau latéral de la branche dorsale du nerf spinal. Ce point est facilement palpable : il est situé sur le sillon marquant la séparation entre les muscles longissimus et épineux lombo-thoracique, en regard d'un espace intervertébral. Il correspond à un point moteur du muscle erector-spinae. Du point de vue de la Médecine Chinoise Traditionnelle (MTC), cela coïncide avec un des points de la branche interne du méridien de la Vessie (Molinier 2003) (Figure 22). A son niveau la résistivité de la peau est diminuée.

La zone d'application des électrodes n'est pas tondue en raison du fait que ce sont des chevaux de particuliers et les tests se déroulaient soit en été soit sur chevaux tondus l'hiver. Elles sont posées avec du gel conducteur (gel d'échographie EKO-gel®, *Aseptin .Med SA ; 31130 Quint-Fonsegrives, France*) sur un poil propre et sec, et maintenues à l'aide de ruban adhésif gris de bricolage (type Plasto®) afin d'éviter qu'elles ne glissent (Figure 20).

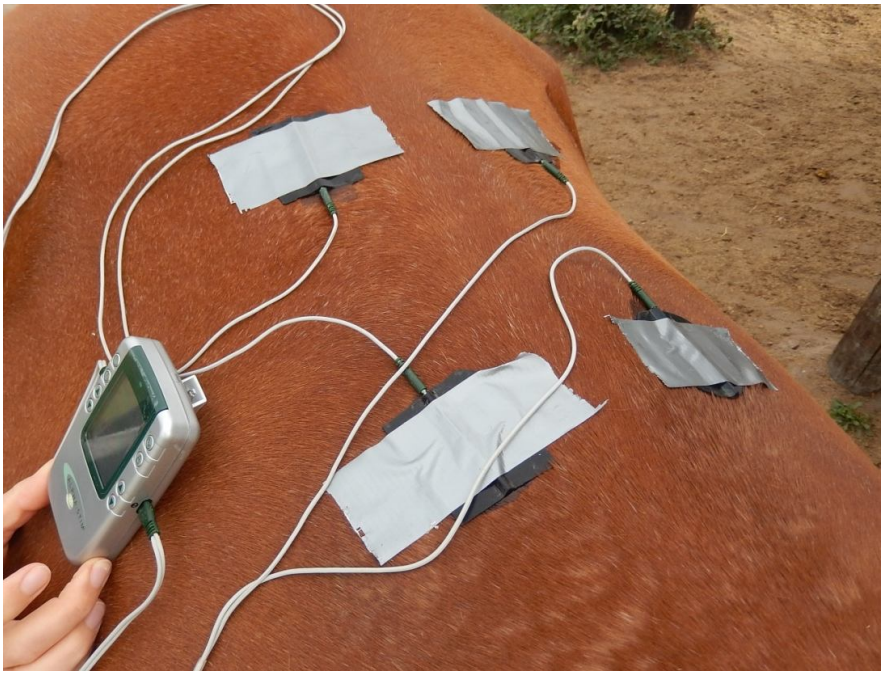


Figure 20 : Dispositif d'électrothérapie en place (Nuellas S)

3. Choix des paramètres

➢ **Paramètres du courant**

- **Une fréquence de stimulation de 1,5 Hz a été sélectionnée.** Cette fréquence est très proche de celle qui est la plus souvent utilisée pour les courants antalgiques TENS de très basse fréquence (dits « endorphiniques ») dans le traitement des douleurs chroniques (2 Hz) (Rocques CF 1997)(Crépon et al. 2007)(Guérin 2011)(Sawaya 2013c). C'est également la fréquence conseillée par le fabricant pour une application des micro-courants avec des électrodes collées (*Electromedical Products International, Inc., s. d.*).

- **La durée d'impulsion :** Il n'est pas possible de sélectionner ou d'agir sur ce paramètre avec l'appareil utilisé. Le courant est produit avec une durée d'impulsion variant entre 250, 500, 750 et 1000 millisecondes avec une période de 660 millisecondes.

- **L'intensité du courant :** Les micro-courants sont théoriquement imperceptibles par l'homme. Aucune étude sur le niveau de perception de ces courants ne semble avoir été réalisée chez les animaux. Le docteur A. Frick (Frick 2007a)(Frick 2014) préconise une intensité entre 100 et 600 µA pour le traitement de la douleur chez les animaux. Nous avons réalisé un test préalable à la première séance avec notre premier cheval : l'intensité est montée progressivement jusqu'au seuil de perception puis d'inconfort. Ce qui est relativement aisé à apprécier chez le cheval: lorsqu'il

perçoit le courant, le cheval se fige, dresse ses oreilles ; au seuil d'inconfort, le cheval s'agite, ses oreilles bougent beaucoup, il semble inquiet. Nous avons fixé l'intensité juste au seuil de perception de ce premier cheval, à **400 µA** (Valeur 4 de l'échelle d'intensité sur l'appareil).

- **Durée et rythme des séances**

- **La durée** des séances **est fixée à 30 minutes**, ce qui correspond à la durée moyenne recommandée pour l'électrothérapie à visée antalgique (Rocques CF 1997)(Crépon 2009c)(Guérin 2011)(Sawaya 2013c)(Frick 2007a)

- **Le rythme** des séances a été fixé à **1 séance par jour pendant 5 jours consécutifs.** Ceci est imposé par les contraintes de disponibilité et d'immobilisation des chevaux au cours de l'étude, mais correspond également très bien au minimum de séances et au rythme classiquement préconisé pour les séances d'électrostimulation dans le traitement de la douleur modérée et chronique (Rocques CF 1997)(Crépon 2009c)(Guérin 2011)(Sawaya 2013c)(Frick 2007a).

Le tableau VI présente un résumé du protocole mis en place.

Tableau VI : Résumé du protocole de traitement aux micro-courants

Durée des séances	Rythme des séances	Fréquence (Hz)	Intensité (µA)
30 min	1x/jour pendant 5j	1,5	400

4. Placebo

Pour les séances placebo, le dispositif est monté et les électrodes placées exactement de la même manière et pour la même durée que pour le traitement, mais l'appareil n'est pas mis en route, le courant n'est donc pas administré.

C. Evaluation

Les effets du traitement sont évalués par algométrie et par des mesures électrophysiologiques. L'avis des cavaliers a également été sollicité.

1. Mesures algométriques

L'algométrie permet de mesurer le seuil minimal de pression qui induit une douleur ou un inconfort (Fischer 1987) (Fransoo 2009). C'est une mesure semi-quantitative permettant d'évaluer une douleur musculaire, tendineuse voire articulaire et qui a montré sa fiabilité chez l'homme (Ylinen et al. 2007).

Chez le cheval, le « seuil nociceptif mécanique » (Mechanical Nociceptive Thresholds ou SNM) a été mesuré au moyen d'un algomètre pour évaluer la douleur dans différentes conditions (Varcoe-Cocks et al. 2006)(Haussler et Erb 2006) (Haussler, Behre, et Hill 2008). Plusieurs travaux réalisés à l'unité de Physiothérapie-Rééducation-Ostéopathie du Campus Vétérinaire de Lyon ont pu montrer la reproductibilité et la fiabilité des mesures algométriques réalisées sur le dos du cheval dans l'évaluation de la sensibilité du rachis thoraco-lombaire chez cette espèce (Hue 2010)(Guérin 2011)(Schwaab 2014). Dans notre étude, l'appareil utilisé, les sites et la méthode de mesures sont les mêmes que ceux des travaux précités.

2. L'appareil de mesure

Les mesures ont été réalisées à l'aide d'un algomètre à ressort, le Dolormeter® (Electro-Medical-System, Nyon, Suisse)[1], Figure 21. Il est constitué d'un manchon contenant une tige cylindrique associée à un ressort.

La tige est initialement graduée de 1 à 4 avec des démarcations indiquant des demi-valeurs. L'échelle a été usinée et augmentée jusqu'à 9 par Guérin C. (2011). Son extrémité est plane et sa surface est de 1cm^2.

Figure 21 : Dolormeter® (Electo-Medical-System, Nyon, Suisse) (Sawaya S)

Le Dolormeter® a servi dans les études de S. Hue (Hue 2010), de C. Guérin (Guérin 2011) et de M. Scwhaab (Schwaab 2014). Ces trois études totalisent 57 chevaux, environ 400 mesures, et plus de 16000 points testés.

[1] La société ne commercialise plus cet appareil actuellement

L'appareil a été calibré au moyen d'une balance de précision. Trois mesures ont été réalisées pour chaque demi-graduation. **La pression appliquée pour une demi graduation correspond à environ 0,500 kg/cm²** (0,505+/- 0,082 kg.cm^{-2}).

- **Méthode de mesure**

Le seuil nociceptif mécanique ou SNM (« Mechanical Nociceptive Threshold) a été mesuré sur 68 points du pont vertébral situés entre la quatrième vertèbre thoracique T4 (sommet du garrot) et la première vertèbre sacrale (S1), plus la 5ième vertèbre sacrale (S5) et la 1ère vertèbre coccygienne (Cd1) :

- Au sommet des processus épineux, le long de la ligne médiane du dos ;
- De chaque côté, sur tous les points correspondant à la description qui en a été faite plus haut pour le positionnement des électrodes : points d'émergence des premiers rameaux cutanés des branches dorsales des nerfs spinaux, points moteurs du m. Erector Spinae, ou points d'acupuncture (Molinier 2003) de la branche interne du méridien Vessie (Figure 22).

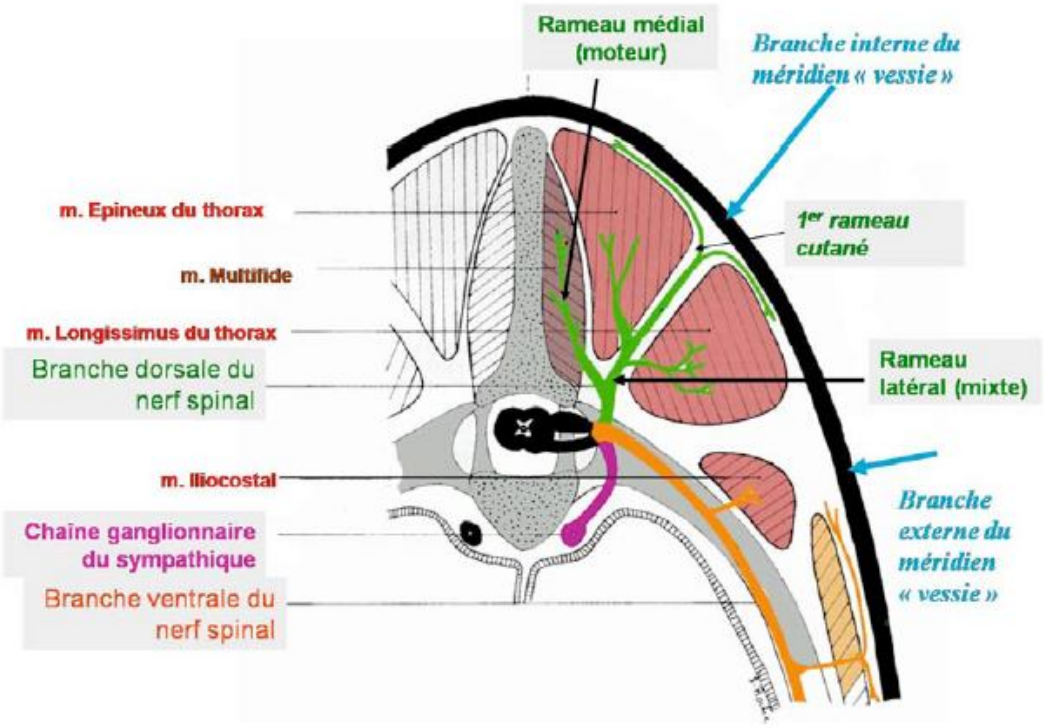


Figure 22 : Situation anatomique des points para-vertébraux testés (S Sawaya modifié d'après Molinier 2003)

Sur chaque point, une pression constante et progressive est appliquée à l'aide de l'algomètre perpendiculairement aux masses musculaires, jusqu'à l'apparition de la première réaction du cheval (Figure 23). Cette réaction peut s'exprimer de différente façon selon son intensité, soit par une contraction réflexe du muscle Erecteur Spinae, soit par une soustraction à la pression ou évitement, soit par un comportement traduisant une douleur (lève la tête, se retourne vers l'expérimentateur,...).

Figure 23 : Mesure du Seuil Nociceptif Mécanique au moyen d'un algomètre à ressort (Nuellas S)

La graduation est relevée sur l'algomètre au moment de la première réaction du cheval. Plus la graduation est élevée, plus le SNM est élevé et donc moins le cheval est sensible. Inversement, plus la valeur mesurée du SNM est faible, plus le point est sensible.

Pour chaque groupe de chevaux, six séries de mesures ont été réalisées: à J0 avant et après la séance puis à J+2, J+7, J+16 et J+21 jours.

3. Mesure du seuil de réponse musculaire à la stimulation électrique (SRM)

- **Définition et principe**

Le seuil de réponse musculaire (SRM) correspond à la plus petite intensité d'une stimulation électrique générant la plus petite secousse musculaire détectable visuellement ou par palpation. Sa valeur est exprimée en **milliampères (mA).**

Le SRM permet d'explorer l'excitabilité neuro-musculaire. Une élévation de ce seuil peut être en rapport avec une diminution d'une hyperexcitabilité des motoneurones due à des tensions ou des contractures musculaires à l'origine - ou conséquence - d'une sensibilité dorsale augmentée ou d'une dorsalgie.

➢ Matériel spécifique de mesure

Le SRM peut être mesuré avec un appareil d'électrostimulation neuromusculaire d'usage courant en physiothérapie humaine ou vétérinaire. Pour notre étude, nous avons utilisé le stimulateur de marque Cefar Rehab 2 Pro® (*Cefar Medical AB, Lund, Suède*), petit appareil portable, dont le mode d'emploi est maîtrisé, puisqu'il est régulièrement utilisé depuis plusieurs années pour les séances de rééducation au service de Physiothérapie-Rééducation-Ostéopathie de VetagroSup et qu'il a servi pour les études sur les courants antalgiques (Guérin C. 2011). Il délivre des courants alternatifs rectangulaires biphasiques de basses fréquences, et est doté de plusieurs protocoles préprogrammés de courants antalgiques TENS ou d'électromyostimulation (Figure 24).

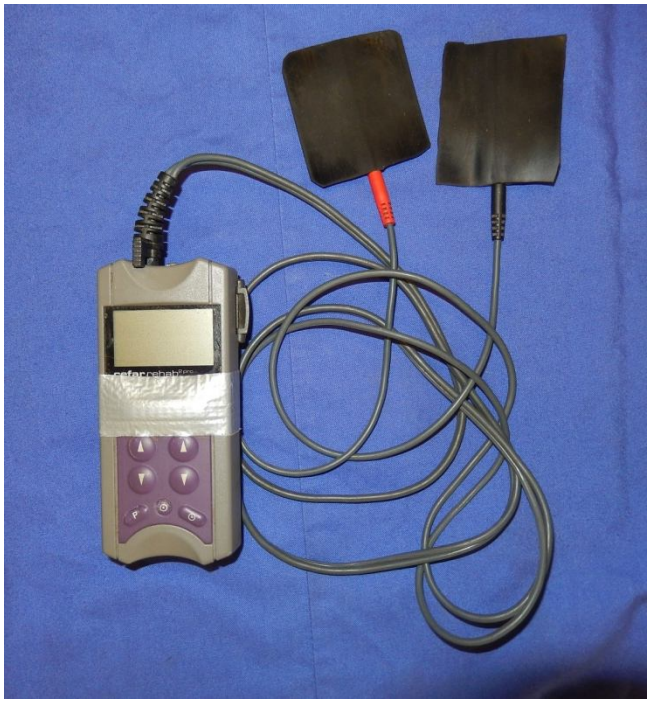


Figure 24 : Cefar rehab² Pro utilisé pour les mesures de SRM (Cefar Medical AB, Lund, Suède) (Nuellas S)

➢ **Paramètres et mode opératoire**

Pour nos mesures électrophysiologiques, nous avons utilisé le programme P2 de l'appareil**,** qui correspond à des courants TENS de très basse fréquence. Ses caractéristiques sont :

- **Fréquence de stimulation : 2 Hz.** La très basse fréquence permet d'obtenir des secousses musculaires bien isolées (pas de sommation temporelle des réponses musculaires caractérisant les stimulations à fréquences plus élevées), qui sont plus faciles à détecter quand il s'agit de déterminer une valeur seuil.
- **Largeur d'impulsion : 180 µs.** Elle correspond à la chronaxie motrice moyenne du muscle Erector-spinae chez le cheval (Sawaya, Combet, et Maellier 2010). On sait que c'est la valeur optimale de la durée d'impulsion pour obtenir une stimulation des motoneurones, à

moindre coût d'énergie d'une part, et avec moins de risque de stimuler les neurones nociceptifs d'autre part (Dumoulin J et Bisschop G 1980)(Rocques CF 1997).

Les électrodes utilisées pour ces tests, et leur positionnements, sont exactement les mêmes que pour l'électrostimulation par micro-courants.

Mode opératoire : L'intensité du courant est augmentée progressivement jusqu'à l'apparition des premières trémulations musculaires. Elle est ensuite diminuée jusqu'à leur disparition totale, puis augmentée à nouveau très progressivement jusqu'à l'apparition des plus petites secousses visibles et/ou palpables.

Le SRM est mesurée avant et après chaque séance de micro-courants ou placebo, à **J0 et J+2 jours puis à J+7, J+16 et J+21 jours.**

4. Evaluation par le cavalier

Il est demandé aux cavaliers d'observer l'attitude de leur cheval au travail et de l'évaluer avant, puis au cours des trois semaines suivant le début des séances de micro-courants ou placebo. Un questionnaire d'évaluation simple leur est transmis (Voir annexes 4 et 5) leur permettant de noter le confort général du cheval à l'exercice, avant le début des séances (tableau VII) d'une part, puis après la fin des séances (tableau VIII) d'autre part. Dans le cas où une modification, amélioration ou détérioration est notée par le cavalier, il lui est demandé d'estimer sa durée.

L'évaluation après la fin des séances se fait à l'aveugle, le cavalier ne sachant pas si son cheval a reçu une véritable thérapie aux micro-courants, ou un placebo.

Tableau VII : Score de confort général de cheval au travail

Evaluation par le cavalier	Correspondance
0	Aucun problème
1	Légères gênes (raideurs) dans certaines allures ou exercices s'améliorant avec l'échauffement
2	Légères gênes (raideurs) dans certaines allures ou exercices ne s'améliorant pas avec l'échauffement
3	Gêne nette dans certaines allures ou exercices persistant à chaud
4	Souvent douloureux ou sensible, difficultés de travail
5	Impossibilité de travailler

Tableau VIII : Score d'amélioration/détérioration après les séances de micro-courants ou placebo

Evaluation par le cavalier	Correspondance
-3	Détérioration forte
-2	Détérioration moyenne
-1	Détérioration légère
0	Aucune amélioration
1	Amélioration légère
2	Amélioration moyenne
3	Amélioration nette
4	Amélioration totale

5. Analyse statistique des résultats

L'outil utilisé pour toutes les analyses statistiques des résultats est le logiciel: Rstudio® (250 Northern Ave, Boston, MA 02210, USA ; www.rstudio.com).

a) Distribution des données et comparaison des moyennes

Pour chaque série de données, on vérifie d'abord si la distribution suit une répartition normale ou non des données à l'aide de diagrammes « box-plot ».

Les moyennes sont ensuite comparées en considérant que nous avons des séries appariées pour la comparaison des paramètres avant et après le traitement ou le placebo aux différentes dates de suivis.

Les comparaisons des moyennes sont réalisées à l'aide:

- Du test de Student dans le cas de répartitions normales des séries
- Du le test de Mann-Whitney-Wilcoxon des rangs signés dans le cas de séries ne suivant pas une répartition normale.

b) Modèle linéaire mixte

Pour l'analyse de l'évolution au cours du temps des seuils nociceptifs mécaniques (SNM) et des seuils de réponse musculaire (SRM), nous avons recours à un modèle linéaire mixte car les variables utilisées sont des variables longitudinales mesurées au cours du temps et sont non indépendantes (mesures sur les mêmes individus). Le modèle mixte permet de comparer l'évolution de la sensibilité globale des chevaux dans les deux groupes et pour tous les jours d'évaluation.

Les données sont regroupées dans un tableau à plusieurs entrées : le cheval/ le traitement (micro-courants ou placebo)/ le jour/ la mesure globale (moyenne de tous les SNM sur toute la ligne

du dos) ou la moyenne du point testé (moyenne par exemple du processus épineux T4, du point para-vertébral T4-T5 à gauche et à droite).

→ Pour tous les tests, **le seuil de significativité a été fixé à 95%, p< 0,05**.

c) Hypothèses

1° Dans le groupe placebo, il n'existe aucune différence significative du SNM ni du SRM avant et après les séances placebo.

2° Chez les chevaux traités, le SNM tend à augmenter au cours des jours avec le traitement aux micro-courants. Cette évolution est absente dans le groupe placebo.

3° Chez les chevaux traités, le SRM à la stimulation électrique est augmenté après le traitement.

D. Déroulement général du protocole de l'étude

La partie expérimentale de l'étude a été réalisée entre avril 2014 et novembre 2015.

Avant chaque séance, les chevaux sont placés dans un endroit calme avec du foin à disposition et pansés. Aucun cheval n'a nécessité de tranquillisation chimique ou de technique de contention physique pour la réalisation des séances d'électrothérapie.

- **A J0**, et pour chaque cheval, avant la première séance (électrothérapie ou placebo) un examen palpatoire complet est réalisé. Les segments de plus grande sensibilité et/ou montrant une perte de mobilité sont répertoriés. Cet examen est suivi de la première évaluation algométrique de tout le dos du cheval.

- Une fois le matériel préparé, les électrodes sont placées de part et d'autre du segment vertébral qui s'est révélé le plus sensible aux examens palpatoire et algométrique, symétriquement des côtés droit et gauche du dos du cheval.

- Dans le cas du groupe traité : l'appareil est mis en route, la fréquence est réglée à 1,5 Hz et l'intensité est montée jusqu'à 400 µA pour 30 minutes de traitement.

- Dans le cas du groupe témoin/placebo : les électrodes sont placées comme décrit précédemment, pendant 30 minutes, mais l'appareil reste éteint. Aucun courant n'est administré.

- Le temps moyen écoulé entre le traitement vrai et les séances placebo est de 3 mois +/- 1 mois.

- La mesure de SRM est réalisée avant et après les séances à J0 et J+2 jours. Puis avant les séances à J+7, J+16 et J+21 jours.

- La mesure du SNM est réalisée à J0 avant et juste après la séance, avant la séance à J+2, puis à J+7, J+16 et J+21 jours.

- Une fois la séance terminée, les électrodes sont ôtées et nettoyées, le dos du cheval est essuyé. Puis chaque cheval est remis dans son box ou paddock, ou au pré en s'assurant qu'il soit couvert par temps de pluie.

- Les mesures algométriques et électrophysiologiques à J0 et J21 sont réalisées à l'aveugle, l'examinateur ne sachant pas si le cheval a commencé un véritable traitement ou un placebo.

- Les cavaliers ne savent à aucun moment si leur cheval a eu des séances de micro-courants ou des séances placebo.

Les points clés du protocole sont résumés dans le tableau IX.

Tableau IX : Résumé de la trame du protocole d'électrothérapie

10 chevaux	10 chevaux traités	
	10 chevaux placebo	
Séance d'électrothérapie ou placebo	1 séance par jour pendant 5 jours	
	30 minutes par séance	
Evaluation	Algométrie	J0 avant et après, J+2, J+7, J+16, J+21 jours
	Electrophysiologie	J0 et J+2 avant et après, J+7, J+16 et J+21 jours

Il est demandé au cavalier de laisser leur cheval au repos pendant les 5 jours de séance ou si cela n'est pas possible de faire un travail léger et de ne pas monter le cheval une heure avant et une heure après la séance. Aussi, il leur est demandé de ne pas faire de concours d'équitation durant les trois semaines suivant la première séance ainsi que de ne pas monter le cheval une heure avant les évaluations de J+7, J+16 et J+21.

II. Résultats

Les 10 chevaux enrôlés dans l'étude ont eu un traitement aux micro-courants (à raison d'une séance par jour, 5 jours consécutifs) et des séances « placebo » selon le même protocole.

Les chevaux ayant suivi la thérapie aux micro-courants sont identifiés : **« groupe traité » ou « GrT »**. Les chevaux ayant suivi les séances placebo sont identifiés **« groupe placebo » ou « GrP ».**

Tous les chevaux ont pu suivre le programme d'électrothérapie jusqu'à son terme sans qu'aucun problème de santé ou autre incident viennent compromettre ou stopper son déroulement.

L'électrothérapie a très bien été tolérée voire même très appréciée des chevaux qui s'endormaient quasiment à toutes les séances.

A. Examen palpatoire et définition des zones sensibles pour chaque cheval

Les résultats de l'examen palpatoire permettant de décider de l'emplacement des électrodes sont conférés pour chaque groupe dans les tableaux X et XI. Ils sont également associés à l'évaluation des cavaliers avant le traitement ou le placebo.

Tableau X: Résultats de l'examen palpatoire et position des électrodes pour le GrT

Cheval GrT	Signes de sensibilité ou gênes évidente	Zones les plus sensibles à la palpation	Zones le plus sensibles à l'algomètre	Emplacement des électrodes	Appréciation du cavalier Score /5
Jingle	Légère restriction lombaire	T4 à T9, L1-2	T4-5 à L1L2	T6-7 à T17-18	1
Nerys	Raide jonction cervico-thoracique	T7 à T10, T15 à 17	T4-5 à L2-3	T4-5 à T12-13	1
Aqua	Manque de souplesse cervico-thoracique	T16-17	T13-14 à L2-3	T13-14 à L1-2	2
T'inquiète	Garrot rigide, muscles fémoraux caudaux très tendus	T4 à T7, T17-18	T4-5 à T18L1	T6-7 à T18-L1	1
Rocco	Raideur cervicale haute, manque musculature garrot	T5 à T10 et T15-16	T5-6 à L3-4	T8-9 à T18L1	1
Jeanmat	Base du garrot, hanche gauche	T4 à T9, T14-15	T6-7 à L3-4	T8-9 à L1-2	1
Syrmane	Sacro-iliaque bloquée à gauche	T14-15, L5-6	T14-15 à L6S1	T15-16 à L6S1	2
Via	Bassin figé	T6 à T9, T15-16, L2-3	T4-5 à L6-S1	T8-9 à T18L1	1
Jonquille	Raideur sacro-iliaque	T8-9, T15-16	T9-10 à T18-L1	T9-10 à T17-18	1
Roxy	Raideur sacrum	T9-10, T14-15, L1-2	T7-8 à L4-5	T9-10 à L1-2	1

Tableau XI : Résultats de l'examen palpatoire et position des électrodes pour le GrP

Cheval GrP	Signes de sensibilité ou gênes évidente	Zone(s) sensible(s) à la palpation	Zone(s) sensible(s) à l'algomètre	Emplacement des électrodes	Appréciation du cavalier Score /5
Jingle	Légère restriction lombaire	T4-5, L1-2	T17-18 à L5-6	T17-18 à L5-6	1
Nerys	Garrot sensible	T4 à T10	T4-5 à T15-16	T4-5 à T13-14	1
Aqua	Manque souplesse cervico-thoracique	T15-16	T14 à T17	T14-15 à T18L1	1
T'inquiète	Garrot tendu, L3-4 bloquées	T4 à T10, T14-15	T7-8 à T18L1	T9-10 à T18L1	1
Rocco	Manque muscle garrot, raideur sacrum	T5 à T10, L1-2	T9-10 à L1-2	T10-11 à L1-2	2
Jeanmat	Jonction thoraco-lombaire sensible	T8-9, T18L1	T4-5 à L1-2	T4-5 à T15-16	1
Syrmane	Raideur latéroflexion droite, douleur sacro-iliaque gauche	T4-5, L1-2	T4-5 à T10-11 et T14-15 à L5-6	T14-15 à L5-6	1
Via	Bassin peu mobile	T5-6, L1-2	T14-15 à L5-6	T14-15 à L4-5	1
Jonquille	Région thoracique antérieure sensible	T7 à T11, T12-13, T18 à L4	T4-5 à T12-13 et L1-2 à L-S1	T9-10 à T18L1	1
Roxy	Raideur garrot et base encolure	T9-10, T14-15, L5-6	T9-10 à L4-5	T9-10 à L4-5	2

On remarque que pour tous les chevaux, les zones les plus sensibles généralement sont la base du garrot et la jonction thoraco-lombaire. Les zones sensibles sont généralement les mêmes pour un même cheval entre le traitement et le placebo. Il est à noter également que les propriétaires évaluent leur cheval comme peu sensible majoritairement.

B. Mesures algométriques

1. Evolution du SNM avant et après la première séance

a) Groupe traité

La moyenne globale des SNM de tous les segments par cheval est calculée et comparée avant et après la première séance de traitement aux micro-courants (Tableau XII) d'une part, avant et après la première séance placebo d'autre part (Tableau XIII).

Tableau XII: Moyenne des SNM avant et après la première séance à J0 - Groupe traité.

	Cheval	SNM (kg/cm²) avant séance	SNM (kg/cm²) après séance
Traitement	Jingle de la Motte	6,8	6,5
	Aqua	7,5	7,3
	Nerys des Landes	5,6	6,2
	Jeanmat	6,7	6,9
	T'inquiète	6,7	7,2
	Rocco	6,4	6,1
	Syrmane	6,8	7,9
	Via la goutelle	5,3	5,6
	Jonquille	7,4	6,9
	Roxy	6,2	6,5
	Moyenne	**6,6 ± 0,7**	**6,7 ± 0,7**

La moyenne des SNM reste quasiment la même avant et après la première séance de micro-courants pour tous les chevaux.

→ La distribution des données ne suit pas une loi normale, la comparaison des moyennes est donc faite à l'aide du test de Mann-Whitney-Wilcoxon.
L'analyse ne montre pas de différence significative (p-value= 0,556) entre la moyenne des SNM avant et après la séance de micro-courants à J0.

b) Groupe placebo

Tableau XIII : Moyenne des SNM avant et après la première séance à J0 - Groupe placebo

	Cheval	SNM (kg/cm²) avant séance	SNM (kg/cm²) après séance
Placebo	Jingle de la Motte	7,2	7,2
	Aqua	7,7	7,6
	Nerys des Landes	6,9	7,2
	Jeanmat	6,7	7,2
	T'inquiète	7,6	7,4
	Rocco	7,4	7,5
	Syrmane	7,7	7,6
	Via la goutelle	7,6	7,7
	Jonquille	5,1	5,7
	Roxy	6,3	6,2
	Moyenne	**7,0 ± 0,8**	**7,1 ± 0,7**

De même, pour le groupe placebo, aucune évolution de la moyenne des SNM avant ou après la séance n'est observée.

→ La distribution des données ne suit pas une loi normale, la comparaison des moyennes est donc faite à l'aide du test de Mann-Whitney-Wilcoxon.
L'analyse ne montre pas de différence significative (p-value= 0,431) entre la moyenne des SNM avant et après la séance placebo à J0.

Résumé :

- **Pour le groupe traité, la moyenne des SNM à J0 est de 6,6 +/- 0,7 kg.cm⁻² avant la séance et de 6,7 +/- 0,7 kg.cm⁻² après la séance.**
  Aucune différence significative entre les moyennes avant et après la séance aux micro-courants n'est mise en évidence (p-value=0,556).
- **Pour le groupe placebo, la moyenne des SNM à J0 est de 7,0 +/- 0,8 kg.cm⁻² avant la séance et de 7,1 +/- 0,7 kg.cm⁻² après la séance.**
  Comme pour le groupe traité, **aucune différence significative** entre les moyennes avant et après séance n'est mise en évidence (p-value=0,431).

2. Evolution des Moyennes globales des SNM

Pour chacun des deux groupes, les moyennes des seuils nociceptifs mécaniques (SNM) de tous les points testés le long du pont vertébral, pour chaque cheval et pour chaque date d'évaluation ont été calculées. Elles représentent la **sensibilité globale du pont vertébral** et **son évolution après les séances.** Les résultats sont répertoriés dans les tableaux XIV et XV.

Tableau XIV : Moyennes globales des SNM - Groupe traité - Valeurs en kg/cm²

	Cheval	Moyenne à J0	Moyenne à J2	Moyenne à J7	Moyenne à J16	Moyenne à J21
Groupe Traité	*Jingle de la Motte*	6,8+/- 0,8	6,9+/- 0,7	7,5+/-1,1	7,1+/- 0,8	7,0+/- 0,8
	Nerys des Landes	5,6+/- 0,7	6,0+/- 0,5	6,3+/- 0,8	5,9+/- 0,8	5,6+/- 0 ,9
	Aqua	7,5+/- 0,8	7,5+/- 0,6	7,8+/- 0,7	7,6+/- 0,5	8,1+/- 0,3
	T'inquiète	6,6+/- 0,8	7,5+/- 0,6	7,4+/- 0,5	7,4+/- 0,3	7,6+/- 0,3
	Rocco	6,4+/- 0,9	6,8+/- 0,7	7,1+/- 0,8	7,3+/- 0,7	7,3+/- 0,6
	Jeanmat	6,6+/- 0,5	6,7+/- 0,5	7,4+/- 0,6	7,2+/- 1,0	7,5+/- 0,6
	Syrmane	6,8+/- 0,9	7,4+/- 1,0	7,1+/- 1,3	7,1+/- 1,5	7,2+/- 1,3
	Via la Goutelle	5,2+/- 0,7	6,2+/- 0,7	5,9+/- 1,2	7,0+/- 0,9	6,6+/- 0,9
	Jonquille	7,4+/- 0,8	7,4+/- 0,4	7,5+/- 0,4	7,3+/- 0,4	7,3+/- 0,3
	Roxy	6,2+/- 1,0	6,7+/- 0,9	7,7+/- 0,6	7,5+/- 0,6	7,5+/- 0,6
	Moyenne Groupe traité	**6,5+/- 0,7**	**6,9+/- 0,5**	**7,2+/- 0,6**	**7,2+/- 0,5**	**7,2+/- 0,7**

Tableau XV : Moyennes globales des SNM – Groupe placebo - Valeurs en kg/cm²

	Cheval	Moyenne à J0	Moyenne à J2	Moyenne à J7	Moyenne à J16	Moyenne à J21
Groupe Placebo	*Jingle de la Motte*	7,2+/- 0,5	7,3+/- 0,4	7,6+/- 0,6	7,2+/- 0,4	7,5+/- 0,4
	Nerys des Landes	6,9+/- 0,6	7,2+/- 0,5	7,0+/- 0,7	6,8+/- 0,5	6,8+/- 0,5
	Aqua	7,8+/- 0,3	7,6+/- 0,4	7,6+/- 0,4	7,4+/-0,5	7,5+/- 0,5
	T'inquiète	7,7+/- 1,0	7,2+/- 0,6	7,4+/- 0,5	7,3+/- 0,3	7,3+/- 0,4
	Rocco	7,5+/- 1,0	7,0+/- 0,7	7,4+/- 0,6	7,2 +/- 0,6	7,0 +/- 0,7
	Jeanmat	6,7+/- 1,0	6,4+/- 0,6	6,9+/- 0,5	6,0+/- 0,7	6,2+/- 0,8
	Syrmane	7,6+/- 0,7	7,2+/- 0,8	7,4+/- 0,6	7,7+/- 0,5	7,2+/- 0,4
	Via la Goutelle	7,6+/- 0,6	7,5+/- 0,3	7,5+/- 0,4	7,5+/- 0,4	7,6+/- 0,6
	Jonquille	5,0+/- 0,7	5,6+/- 0,9	6,0+/- 0,6	5,2+/- 0 ,9	6,4+/- 0,5
	Roxy	6,3+/- 1,1	6,4+/- 1,1	6,3+/- 1,1	6,2+/- 0,7	6,2+/- 0,7
	Moyenne Groupe placebo	**7,0+/- 0,8**	**6,9+/- 0,6**	**7,1+/- 0,6**	**6,8 +/- 0,8**	**7,0 +/- 0,5**

Au vu de ces résultats, il est à noter qu'en moyenne les chevaux sont de sensibilité équivalente dans les deux groupes à J0.

Dans le groupe traité, tous les chevaux sauf un (Jonquille) montrent une augmentation de leur SNM moyenne au cours de l'étude (jusqu'à plus d'1 kg/cm^{2,} pour certains, comme Via la Goutelle), la majorité atteignant une valeur maximale à J2 ou à J7.

Dans le groupe placebo, il est plus difficile voire impossible de déceler une tendance quant à l'évolution du SNM. Si deux chevaux (Jonquille et Jingle) semblent montrer une augmentation notable de leur SNM à J7 suivie d'une oscillation entre J16 et J21, pour tous les autres chevaux les valeurs restent proches tout au long de l'étude.

→ L'analyse de ces données est réalisée à l'aide d'un modèle linéaire mixte où, les facteurs fixes sont le jour et le traitement, le cheval (donc l'individu) est un facteur aléatoire. L'analyse révèle qu'il n'y a **pas d'effets significatifs du temps ni du traitement sur l'évolution du SNM**.

Afin de pouvoir simplifier l'étude des données, les moyennes des SNM sont faites pour chaque jour et pour chaque traitement et sont présentées dans la figure 25.

L'analyse de l'évolution du SNM moyen pour le groupe traité, montre **une augmentation significative dès J2** (p-value = 0,008), **un maximum atteint à J7** (p-value = 0,002) **avec un plateau qui reste significativement augmenté encore à J21** par rapport à la valeur initiale **(Figure 25)**.

L'analyse statistique ne montre aucune évolution significative du SNM moyen pour le groupe placebo (Figure 25).

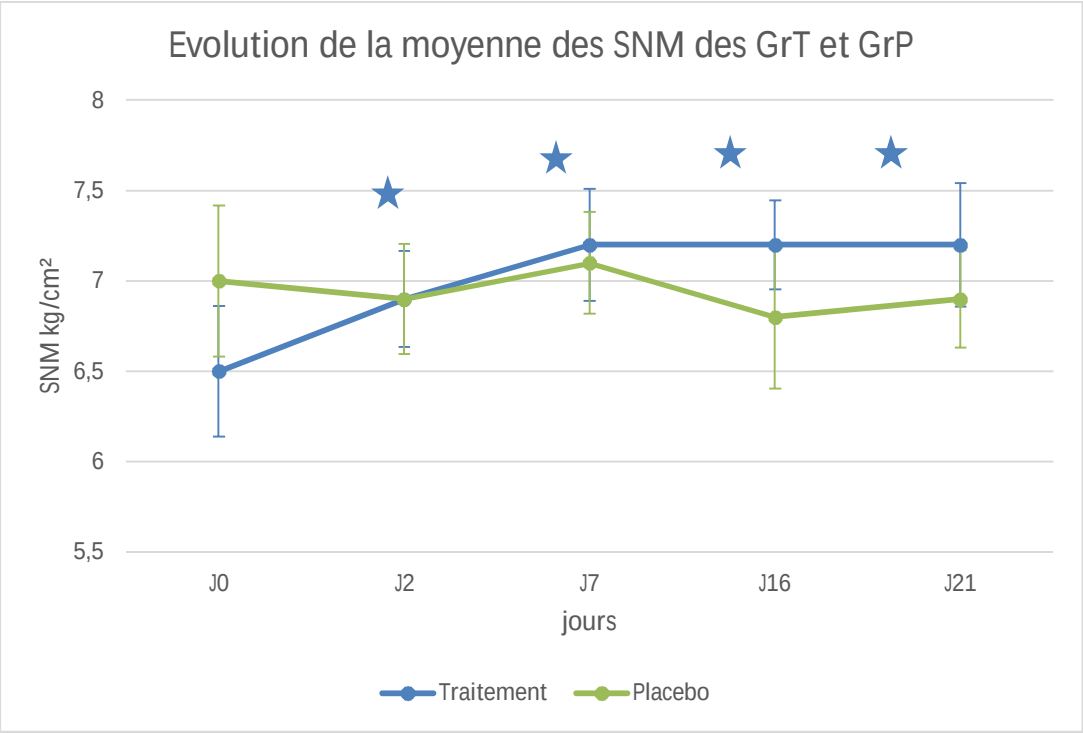


Figure 25 : Evolution comparée des Seuils Nociceptifs Mécaniques moyens des groupes traité et placebo. Les étoiles signifient une différence significative par rapport à J0 pour le groupe traité.

3. Représentation et comparaison de l'évolution du pattern général des SNM le long du pont vertébral

a) Evolution moyenne du SNM le long du pont vertébral pour tous les chevaux de chaque groupe

Pour chaque groupe, la moyenne de chaque point vertébral est calculée pour tous les chevaux et pour chaque date d'évaluation. Les évolutions des courbes des sensibilités moyennes tout le long du pont vertébral sont présentées dans les figures 26 et 27. Par soucis de lisibilité, les barres d'erreur ne sont pas rajoutées (les tableaux des moyennes et écart-types sont présentés en annexe 10). La valeur minimale de l'ordonnée est fixée à 5.

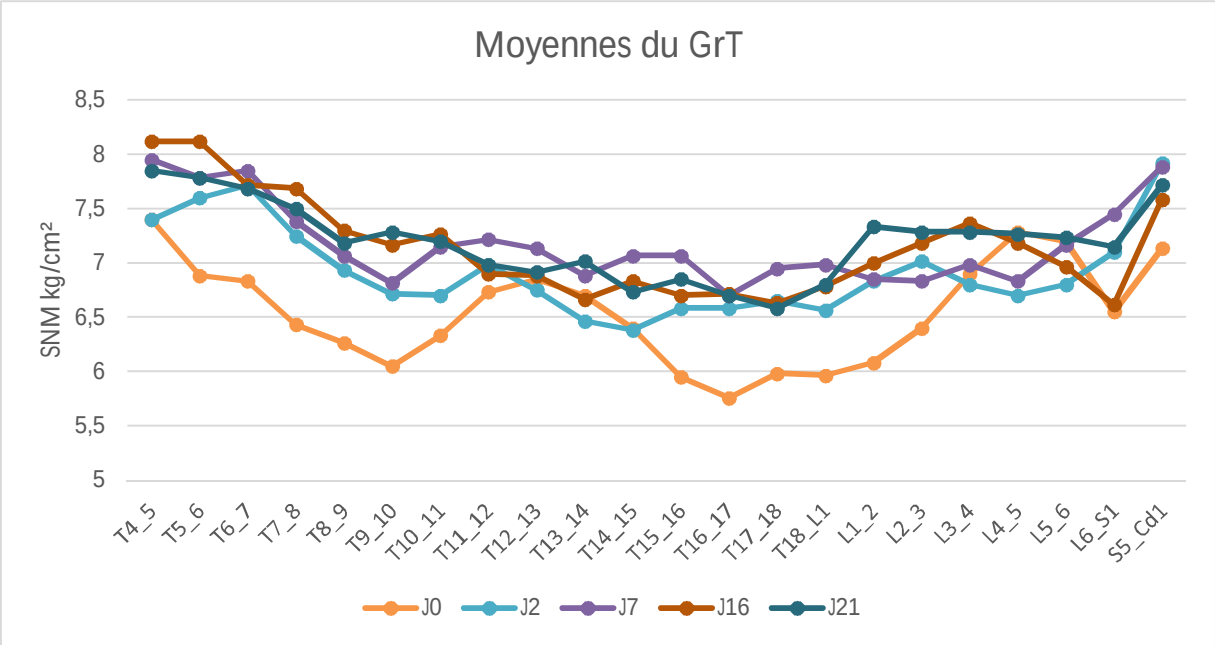


Figure 26 : Evolution de la moyenne des SNM pour le GrT

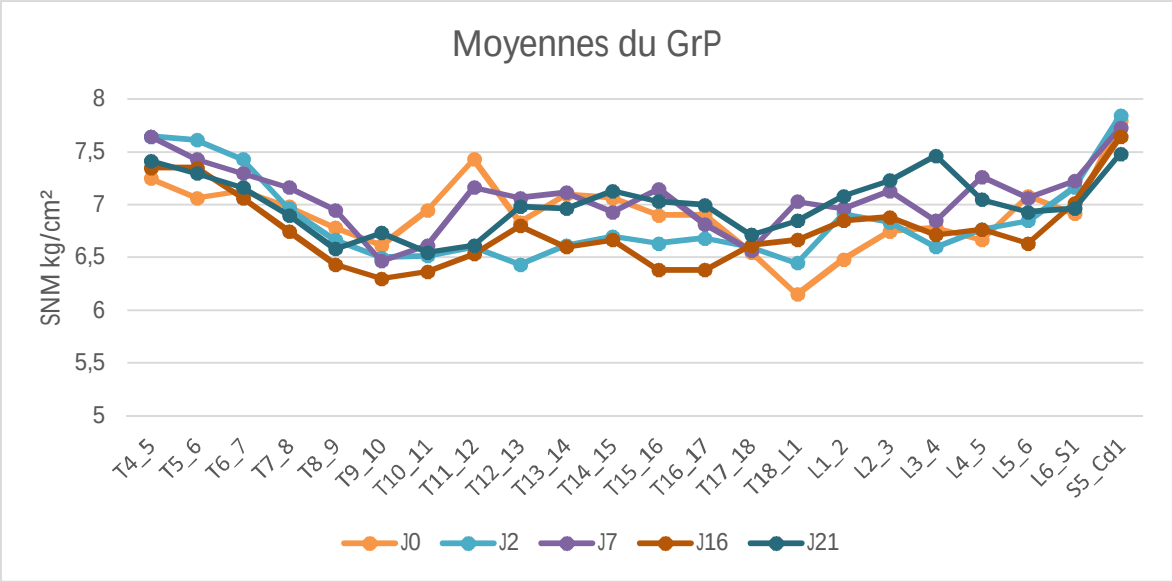


Figure 27 : Evolution de la moyenne des SNM pour le GrP

Dans le groupe traité, deux zones montrent à J0 un SNM diminué, donc une plus grande sensibilité, par rapport à l'ensemble du pont vertébral : les segments de la base du garrot (entre T7-8 et T10-11) d'une part, et la jonction thoraco-lombaire (entre T16-17 et L1-2) d'autre part. La courbe se déplace vers le haut à J2, et cette augmentation des SNM persiste jusqu'à J21. L'augmentation est plus marquée (environ 1,5 unités) pour les segments initialement les plus sensibles T4 à T11 et T14 à L3.

Dans le groupe placebo, les zones les plus sensibles à J0 sont situées dans les mêmes régions que pour le groupe traité, mais elles sont moins étendues (T8 à T10 et T17 à L3) et avec valeurs moyennes un peu plus élevées que pour le groupe traité (plus élevée d'environ 0,5 unités). Aucun déplacement notable de la courbe n'est observé.

→ L'analyse statistique réalisée à l'aide d'un modèle linéaire mixte avec interaction du jour et du traitement montre un **effet significatif du jour associé au traitement** (IC à 95% = [0,008 ; 0,020]) sur la sensibilité dorsale.

b) Présentation de l'évolution des SNM chez quelques chevaux de l'étude

Pour chaque cheval, l'aspect général des SNM est représenté tout le long du pont vertébral entre T4 et Cd1. Il est comparé à la courbe générale moyenne du groupe à J0, puis comparée à son évolution à J0, J2, J7, J16 et J21. .
Une analyse statistique est ensuite réalisée par cheval pour objectiver si le traitement a un effet sur la sensibilité dorsale du cheval en question.
Seuls les exemples les plus représentatifs sont présentés ici, les graphiques des autres chevaux sont présentés dans l'annexe 7. Les chevaux présentés ici sont Nerys (Figure 28 et 29), Jeanmat (Figure 30 et 31), Via (Figure 29 et 30) et Roxy (Figure 32 et 33).

(1) Nerys des Landes

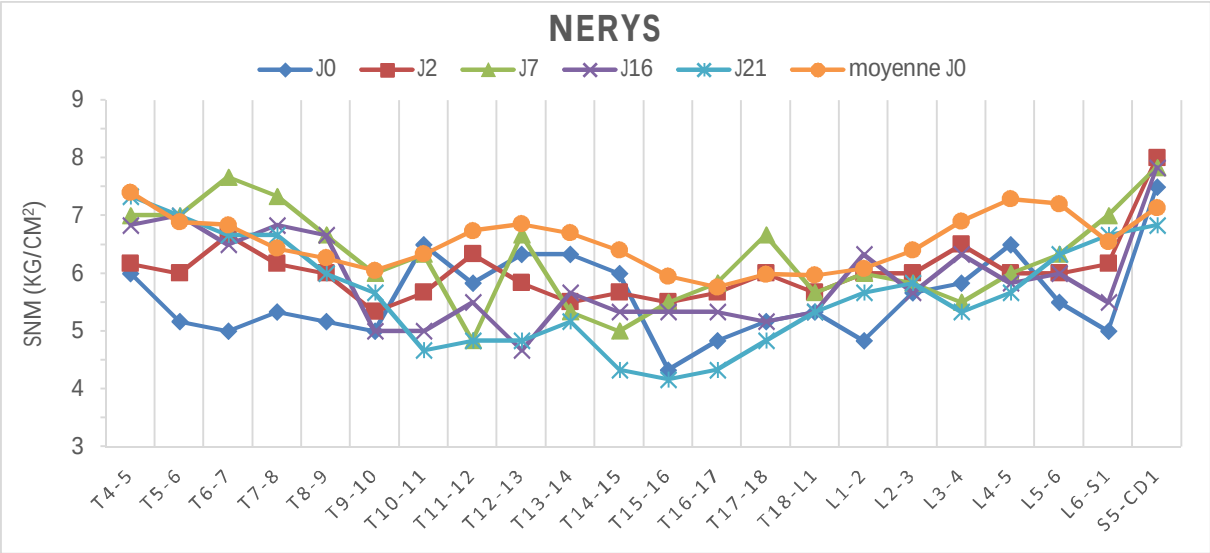


Figure 28: Evolution des SNM le long du pont vertébral lors du traitement pour Nerys

Dans le groupe traité, la courbe des SNM à J0 de Nerys se situe sur toute sa longueur en dessous de la courbe moyenne du groupe à la même date. Ceci révèle un pont vertébral plus sensible que la moyenne des chevaux du groupe. Les segments les plus sensibles correspondent à toute la région du garrot, du sommet à sa base (T4 à T10), avec un SNM minimal en T6-7 (5 Kg/cm²), la région thoracique caudale (SNM mini en T15/16 = 4,2 Kg/cm²) et la région lombaire caudale avec un SNM minimal à la jonction lombo-sacrale (L6-S1, SNM = 5 Kg/cm²).

- Une évolution positive est visible après la première séance avec une courbe des SNM à J2 qui remonte et se rapproche de la courbe moyenne du groupe à J0 sur toute sa longueur. Les valeurs des SNM les plus sensibles à J0 s'élèvent toutes d'au-moins 1 Kg/cm². Cette élévation continue encore sur pratiquement toute la colonne jusqu'à J7.

- Les valeurs des SNM se maintiennent à peu près avec une valeur notablement plus élevée (donc sensibilité abaissée) à J16 et 21 par rapport à J0 dans toute la portion crâniale (garrot de T4 à T10) et dans la région lombaire et lombo-sacrale (T18 à S1). Par contre pour la portion T10 à T18 du segment thoracique, on observe, à partir de J16, une tendance à l'abaissement de la courbe des SNM et le retour à J21 vers des valeurs proches, voire légèrement plus basses qu'à J0.

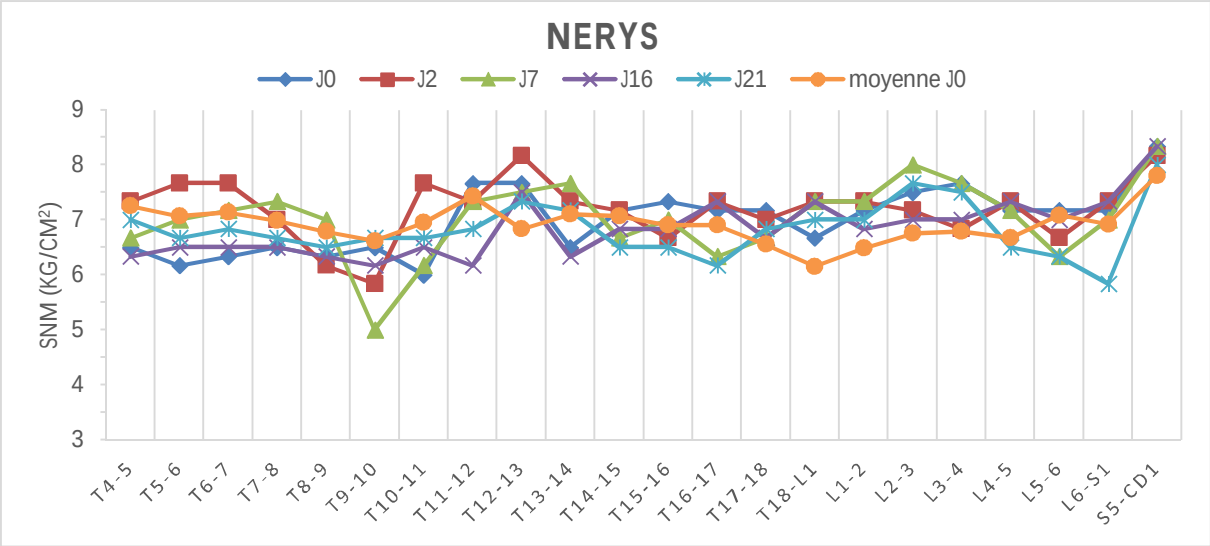


Figure 29 : Evolution des SNM le long du pont vertébral lors du placebo pour Nerys

Dans le groupe placebo, Nerys montre une sensibilité dorsale globale proche de la moyenne du groupe à J0. La partie crâniale de la courbe (SNM entre T4 et T7) est légèrement en dessous de celle de la moyenne du groupe, signant une légère sensibilité dans la région du garrot (SNM minimal en T5-6 = 6,2).

Bien que les mesures à J2 et suivantes montrent une légère élévation globale des SNM du segment T4-T7, aucune évolution notable dans un sens ou dans l'autre ne peut être mise en évidence tout le long du pont vertébral.

→ **L'analyse statistique** réalisée pour Nerys à l'aide d'un modèle linéaire mixte avec interaction du jour et du traitement montre un **effet significatif** (intervalle de confiance (IC) à 95% = [0,007; 0,035]) du temps seul mais aussi un **effet significatif** du jour associé au **traitement** (IC à 95% = [-0,079 ; -0,048]) sur la sensibilité dorsale.

(2) Jeanmat

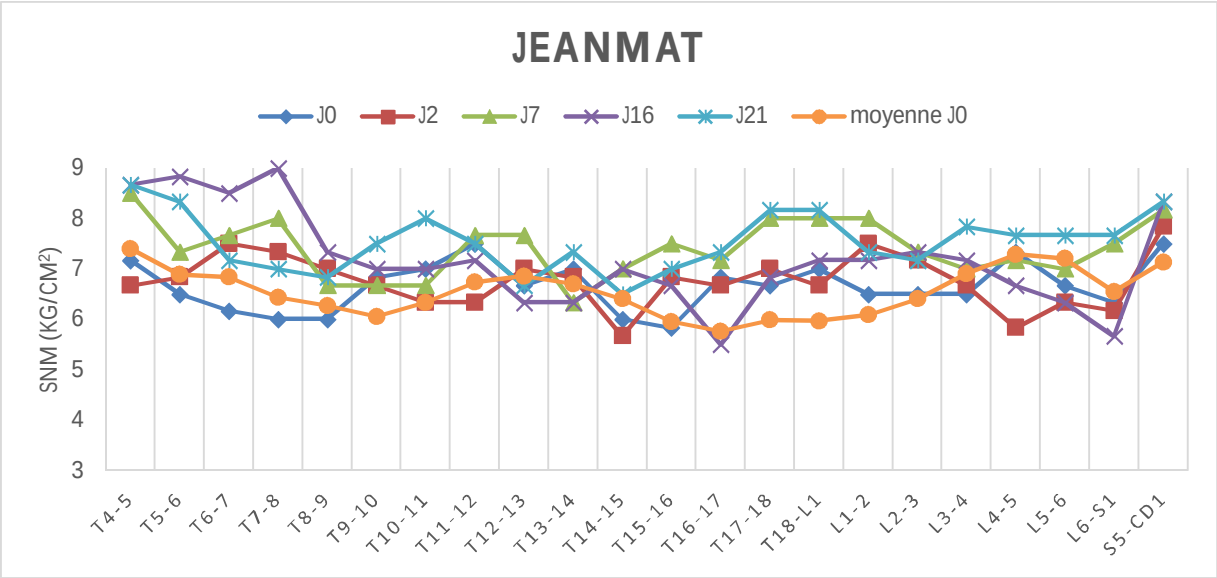


Figure 30: Evolution des SNM le long du pont vertébral lors du traitement pour Jeanmat

Pour Jeanmat, l'évolution de la sensibilité du pont vertébral est plutôt stable. On note tout de même une légère amélioration à J7 à partir de T14-15 qui est encore présente à J21 (augmentation d'environ 1 kg/cm²).

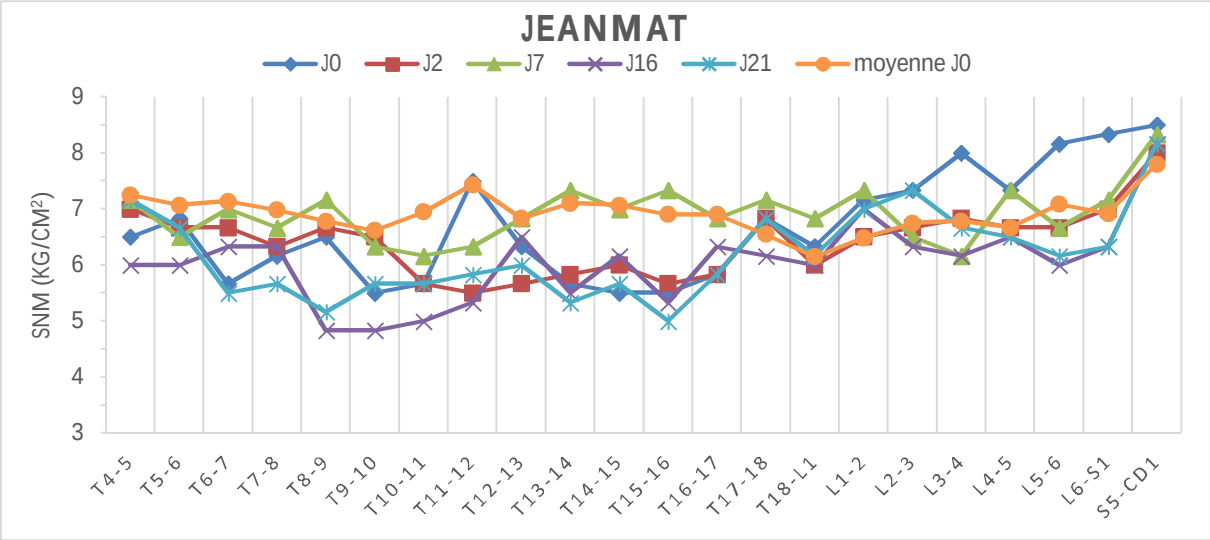


Figure 31: Evolution des SNM le long du pont vertébral lors du placebo pour Jeanmat

Dans le groupe placebo et à J0, Jeanmat est plus sensible que la moyenne des chevaux du groupe, avec une courbe des SNM située en-dessous de la courbe moyenne du groupe sur toute la longueur de la région thoracique de T4 à L1. Les valeurs minimales des SNM sont mesurées en T6-7, T9-10 et T14-15 (SNM = 5,5 Kg/cm²).

On observe une augmentation notable des valeurs des SNM à J7 pour les segments vertébraux de T12 à T18 (avec augmentation du SNM de plus de 1,5 unités pour certains segments), mais ces

valeurs reviennent à des valeurs proches de celles mesurées à J0 à partir de J16, et cet abaissement des SNM, donc augmentation de la sensibilité dorsale, se retrouve sur pratiquement toute la longueur du pont vertébral.

→ **L'analyse statistique** réalisée pour Jeanmat à l'aide d'un modèle linéaire mixte avec interaction du jour et du traitement montre un **effet significatif** (intervalle de confiance (IC) à 95% = [-0,041;- 0,017]) du temps seul mais aussi un effet significatif du jour associé au traitement (IC à 95% = [0,054 ; 0,08]) sur la sensibilité dorsale.

(3) Via la goutelle

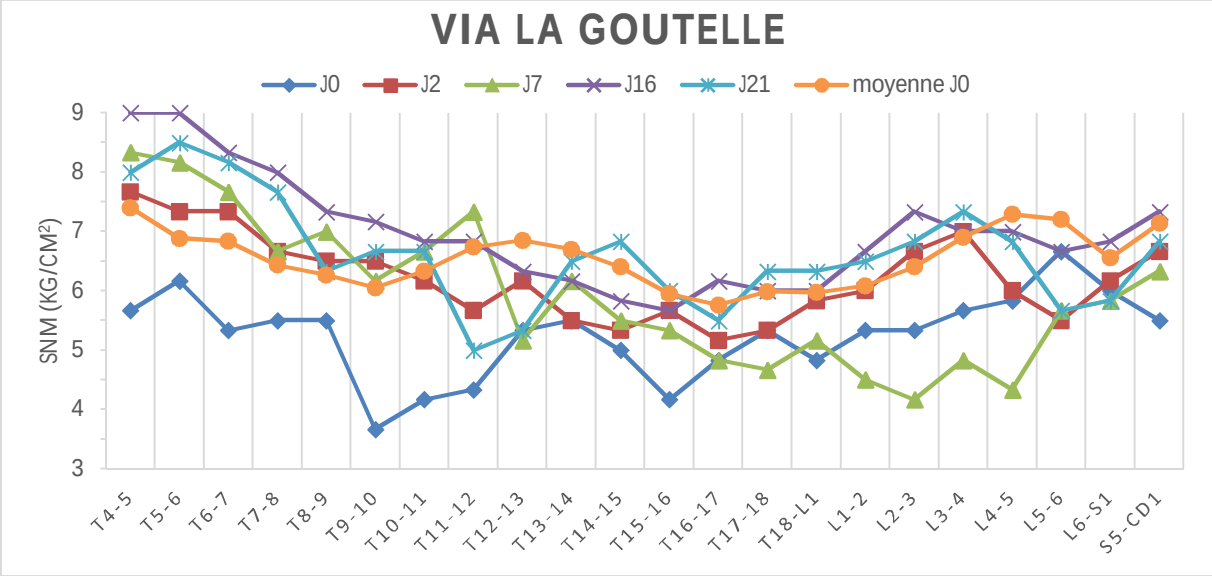


Figure 32 : Evolution des SNM le long du pont vertébral lors du traitement pour Via

Dans le groupe traité, le pattern des SNM à J0 de **Via** montre une courbe située nettement en dessous de celle des moyennes des SNM du groupe à la même date sur pratiquement tout le long du pont vertébral (Figure 32). Ceci montre une sensibilité augmentée de l'ensemble du pont vertébral par rapport aux autres chevaux du groupe. Certains segments présentent des SNM particulièrement bas telles que la région thoracique moyenne (T9 à T12, avec un SNM minimal de 3,6), la région thoracique caudale (de la vertèbre anticlinale : en T15-16 avec un SNM de 4,2), la jonction thoraco-lombaire et la partie lombaire crâniale (T18 à L3 avec SNM minimal de 4,8).

Dès J2, c'est-à-dire après la première séance de micro-courants, on observe un redressement du pattern sur toute la longueur de la colonne vertébrale. Les valeurs minimales des SMN rapportés plus haut sont augmentés de façon notable (T9-10 : 6,5 ; T15-16 : 5,7 ; T18-L1 : 5,8). Ce redressement se continue jusqu'à la fin des tests pour la portion crâniale du pont vertébral. Par contre, la partie caudale, et plus particulièrement la charnière thoraco-lombaire et le segment lombaire, voit à nouveau une chute importante des valeurs des SNM à J7 avec une courbe qui s'abaisse nettement en-dessous de celles à J0, avant qu'elle se redresse à nouveau à partir de J16 et que les valeurs des SNM augmentent à nouveau de façon significative.

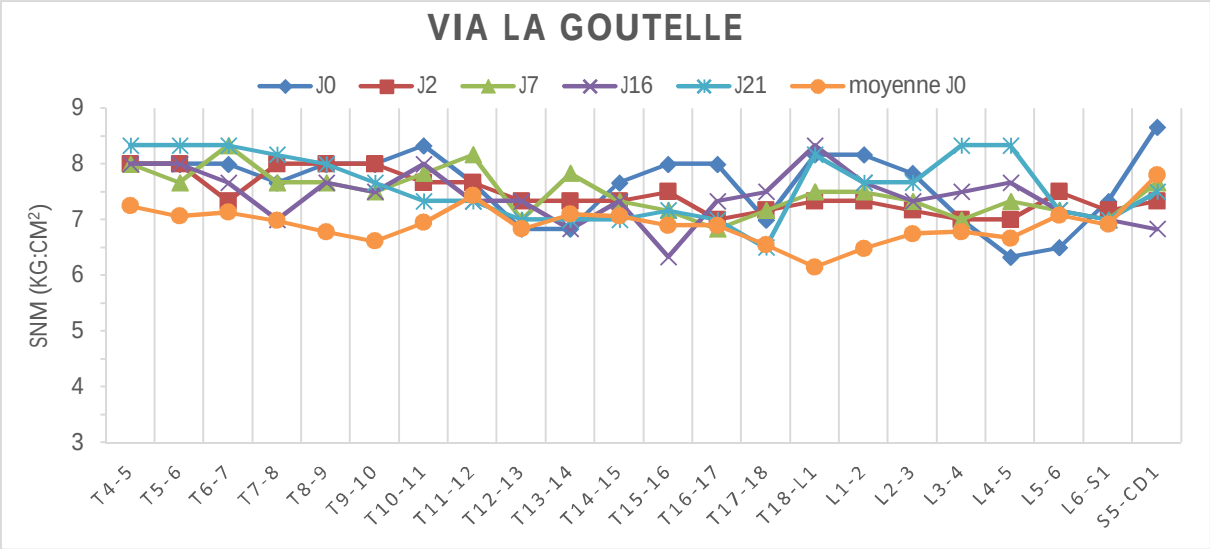


Figure 33: Evolution des SNM le long du pont vertébral lors du placebo pour Via

Dans le groupe placebo, la courbe des SNM à J0 de Via est dans sa grande majorité au-dessus de celle des moyennes des chevaux du groupe à la même date, en rapport avec un rachis qui ne montre pas une sensibilité augmentée par rapport aux chevaux du groupe. Seuls les segments L4-L5 et L5-L6 montrent des SMN légèrement inférieurs au reste du rachis (6,3 et 6,5 respectivement). Même si les mesures des SNM de ces segments montrent des valeurs plus élevées (valeurs > 7, au-dessus de J0) et plus homogènes avec le reste des points du rachis, aucune évolution significative dans un sens ou l'autre des courbes SNM de Via n'est identifiable au cours du temps.

→ **L'analyse statistique** réalisée pour Via à l'aide d'un modèle linéaire mixte avec interaction du jour et du traitement montre un **effet significatif** (intervalle de confiance (IC) à 95% = [0,04 ; 0,07]) du temps seul et du temps associé au **traitement** (IC à 95% = [-0,07 ;-0,03]) sur la sensibilité dorsale.

(4) Roxy

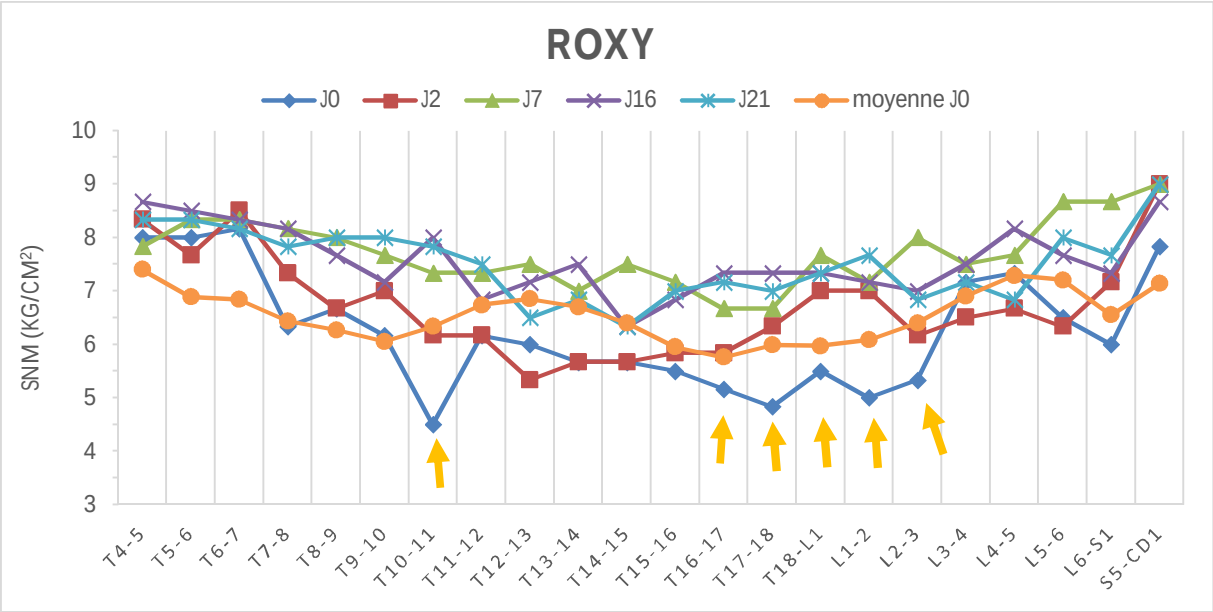


Figure 34 : Evolution des SNM le long du pont vertébral lors du traitement pour Roxy

La courbe de Roxy à J0 est plus basse que celle de la moyenne du groupe traité montrant deux zones de sensibilité augmentée (SNM diminué) : le segment T10-11 et la région thoraco-lombaire et lombaire crâniale (T16 à L3) avec des valeurs minimales respectives de 4,5 et de 4,8 Kg/cm².

Le graphique de la figure 34 montre de façon évidente l'élévation de la courbe globale dès J2, notamment le redressement notable des deux portions correspondant aux deux segments les plus sensibles, pour atteindre des valeurs de 7,8 Kg/cm² (T10-11) et 7 kg/cm² (T17-18) à J21.

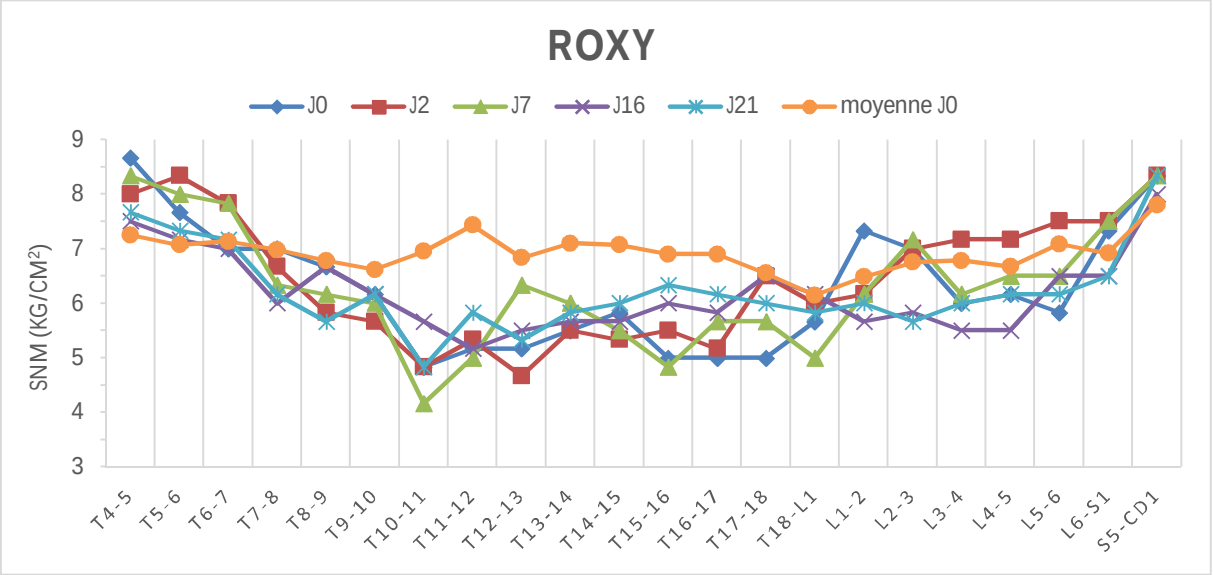


Figure 35: Evolution des SNM le long du pont vertébral lors du placebo pour Roxy

Dans la phase du test placebo, le pattern général des SNM à J0 de Roxy montre à nouveau une large portion de la courbe située en dessous de celle de la moyenne du groupe à J0. Ce segment vertébral à la sensibilité augmentée s'étend sur une grande portion du segment thoracique (T8-9 à T17-18) et à moindre degré au segment lombaire (L2-L3 à L5-L6).

Les séances placebo ne montrent pas de redressement notable des patterns au cours du temps, l'ensemble des courbes restant globalement en-dessous de la valeur J0 moyenne. La sensibilité reste relativement stable tout le long du pont vertébral et tout le long du test.

→ **L'analyse statistique** réalisée pour Roxy à l'aide d'un modèle linéaire mixte avec interaction du jour et du traitement ne montre pas d'effet significatif (intervalle de confiance (IC) à 95% = [-0,024 ; 0,009]) du temps seul mais un **effet significatif** du temps associé au traitement (IC à 95% = [0,081 ; 0,11]) sur la sensibilité dorsale.

Résumé :

- Chez 5 chevaux, il y a un effet significatif du temps sur la sensibilité dorsal tout le long du pont vertébral ainsi qu'un effet significatif du temps associé au traitement (interaction du temps et du traitement).
- Chez 3 chevaux, il n'y a pas d'effet significatif du temps sur la sensibilité dorsale mais une interaction significative entre le temps et le traitement.
- Chez 2 chevaux, il n'y a aucun effet significatif du temps ni de l'interaction temps/traitement.

C. Mesures électrophysiologiques

Le seuil de réponse musculaire à la stimulation (SRM) a été mesuré avant et après les séances de J0 et J+2j pour les deux groupes puis lors des réévaluations à J+7j, J+16j et J+21j.

1. Résultats des tests avant et juste après les séances de micro-courants ou placebo à J0 et à J2

Pour chaque cheval, la moyenne des SRM mesurés des côtés droit et gauche est calculée. Les moyennes des SRM mesurés avant la séance de micro-courants ou de placebo sont ensuite comparées à celles mesurées juste après la séance, à J0 et à J2. Les résultats sont présentés dans les Tableaux XVI (Gr traité) et XVII (Gr Placebo). Une variation de la valeur du SRM sera considéré notable s'il est supérieur ou égal à 5% de la moyenne des SRM avant traitement (en valeur absolue).

a) Groupe traité

Tableau XVI: Comparaison des SRM avant et après les séances de micro-courants à J0 et J2 du groupe traité

Cheval	Jour	Moyenne avant séance (mA)	Moyenne après séance (mA)
Jingle	J0	2	8,75
	J2	2,5	4,25
Aqua	J0	12,5	15,5
	J2	5,5	15,5
Nerys	J0	10,5	12,5
	J2	8,5	11,25
Jeanmat	J0	12,75	16,25
	J2	7	13
T'inquiète	J0	10	11,5
	J2	12,75	12,25
Rocco	J0	13	14
	J2	11,25	14,25
Syrmane	J0	9,75	8,25
	J2	9	10
Via la goutelle	J0	10	9,75
	J2	13,5	11,5
Jonquille	J0	12,5	15,5
	J2	10,75	13
Roxy	J0	7,75	11
	J2	7,25	12,5
Moyennes	**J0**	**10,0 ± 3,3**	**12,3 ± 2,9**
	J2	**8,8 ± 3,4**	**11,8 ± 3,1**

Dans le groupe traité, le SRM est augmenté chez 8 chevaux sur 10, avec une différence supérieure ou égale à de 2mA chez 6 d'entre eux (jusqu'à + 6 mA pour Jingle). Il est au contraire diminué chez un cheval (- 1,5 mA pour Syrmane) et peu modifié pour Via (- 0,25 mA). La variation moyenne est de 2,2 ± 2,3 mA.

La même observation est valable pour les tests à J2 : l'intensité SRM est augmentée chez 8 chevaux (dont 6 montrent une élévation ≥ 2mA, + 6 mA pour Jeanmat et jusqu'à +10 mA pour Syrmane) ; et deux chevaux montrent une diminution de la SRM d'une valeur ≤ 2 mA. La variation moyenne est de 2,9 ± 2,3 mA.

→ La distribution des données à J0 et J+2j ne suivent pas une loi normale, la comparaison des moyennes se fait donc à l'aide du test non paramétrique de Mann-Whitney-Wilcoxon.
Une différence significative est notée à J0 (p-value = 0,021) et à J2 (p-value = 0,019) entre les SRM mesurés avant et juste après la séance.

Il ressort que nous avons une augmentation significative de la SRM pour le groupe traité, juste après la séance aux micro-courants, à J0 et à J2.

b) Groupe placebo

Tableau XVII : Comparaison des SRM avant et après les séances placebo à J0 et J2 du groupe placebo

Cheval	Jour	Mesure avant séance (en mA)	Mesure après séance (en mA)
Jingle	J0	2,75	3,75
	J2	5,5	5,75
Aqua	J0	9,25	10,25
	J2	10,5	12
Nerys	J0	8,75	9,25
	J2	11,5	13,25
Jeanmat	J0	14,5	18,25
	J2	9,5	13,5
T'inquiète	J0	10,5	10,75
	J2	9,5	10,5
Rocco	J0	12,25	11,75
	J2	8,25	9,75
Syrmane	J0	7,75	9,75
	J2	7,75	8,75
Via la goutelle	J0	8,25	9
	J2	8,5	10
Jonquille	J0	12	13,5
	J2	12,75	14,25
Roxy	J0	7,5	7,75
	J2	7,5	9
Moyennes	**J0**	**9,4 ± 3,2**	**10,4 ± 3,8**
	J2	**9,1 ± 2,1**	**10,7 ± 2,6**

Pour le groupe placebo, une légère augmentation du SRM après la séance placebo chez la majorité des chevaux est observée à J0 et à J2.

- A J0, sept chevaux montrent une augmentation notable du SRM après la séance. Parmi eux, cette augmentation est ≥ 2 mA pour deux chevaux. Le SRM est diminué chez un cheval (-0,5 mA) et ne varie pas chez les deux derniers. La variation moyenne est de 1,5 ± 1,2 mA.

- A J2, neuf chevaux montrent une augmentation notable de leur SRM après la séance placebo. Un seul cheval montre une augmentation de plus de 2 mA (Jeanmat : + 4 mA). La variation moyenne à J2 est de 1,6 ± 1 mA.

→ La distribution des données à J0 et J+2j ne suivent pas une loi normale, la comparaison des moyennes se fait donc à l'aide du test non paramétrique de Mann-Whitney-Wilcoxon.

Les tests de comparaison des moyennes montrent une **différence significative** entre les SRM **avant et après séances placebo**, aussi bien à J0 (p-value=0,016), qu'à J2 (p-value=0,005).

Bien que l'augmentation des SRM après séances placebo soit légère et deux fois plus faible en moyenne qu'après les séances de traitement vrai aux micro-courants, cette augmentation s'avère statistiquement significative, ce qui laisse supposer un effet placebo sur le paramètre d'intensité SRM.

2. Evolution du SRM sur toute la durée du test

Pour chacun des groupes, traité et placebo, les variations des SRM au cours de la durée de l'étude ont été étudiées cheval par cheval, puis par analyse globale de l'évolution des moyennes de tous les chevaux à chaque date d'évaluation.

L'étude individuelle de la progression des SRM au fil du temps et pour chaque cheval, que ce soit pour le groupe traité ou que pour le groupe placebo, montre une grande variabilité d'évolutions d'un animal à l'autre, sans qu'il ne soit possible d'en ressortir une évolution type ou une tendance, ni de mettre en évidence une différence d'évolution entre les deux groupes (Figures 36 et 37). Les valeurs chiffrées des SRM pour chaque cheval sont reléguées en annexe 8.

a) Analyse des SRM pour chaque cheval

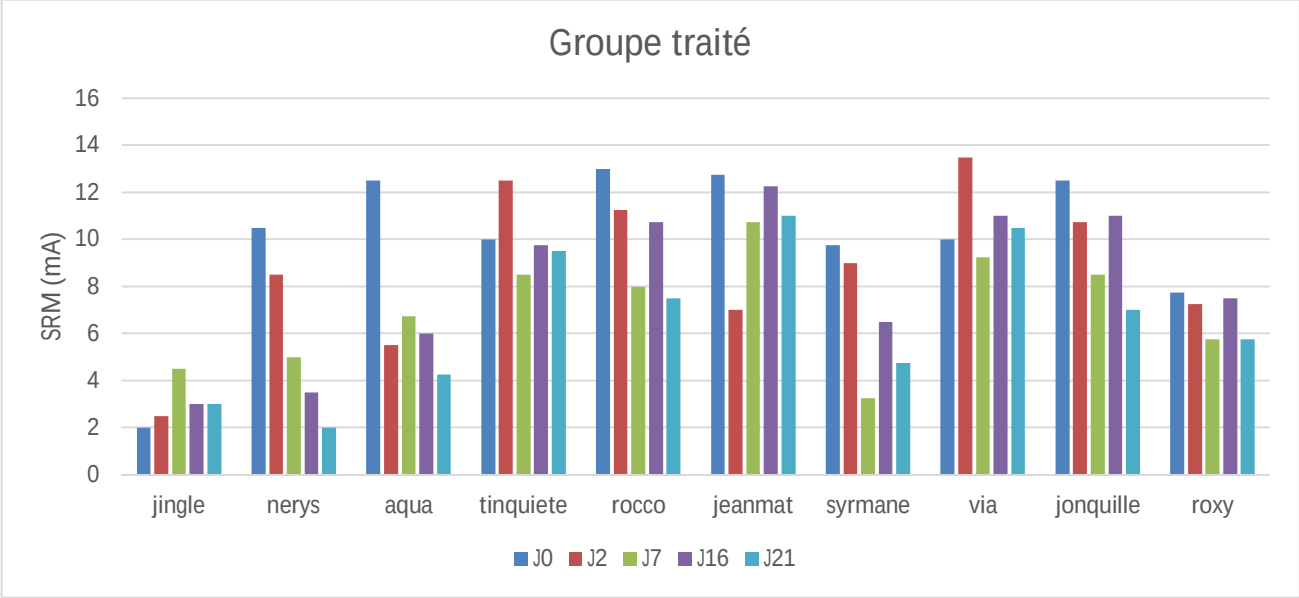


Figure 36: Evolution des SRM au cours du temps pour chaque cheval du groupe traité

Le SRM semble diminué tout au long du test pour tous les chevaux, sauf pour Jingle où le SRM augmente légèrement tout au long du test.

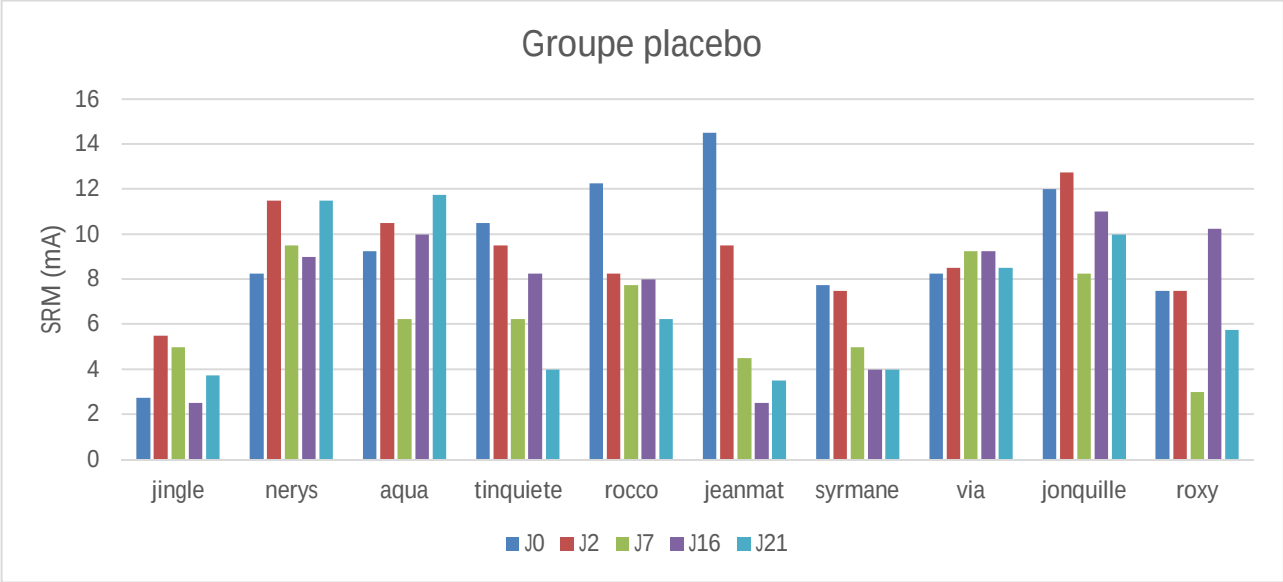


Figure 37: Evolution des SRM au cours du temps pour chaque cheval du groupe placebo

La même observation est faite pour le groupe placebo.

L'application de micro-courants ou du placebo semble avoir la même influence sur l'évolution du seuil de réponse musculaire.

→ Les résultats ont été analysés statistiquement avec un modèle linéaire mixte. L'analyse montre **un effet significatif du jour** sur le SRM (IC à 95% = [-0,18 ; -0,04]), c'est-à-dire que le temps à un effet significatif sur l'évolution du SRM et donc qu'il existe une différence significative entre les valeurs des SRM aux différents jours pour chaque cheval. Néanmoins, il n'y a **pas d'effet significatif du traitement** sur les valeurs du SRM.

b) Analyse des moyennes des SRM pour chaque groupe

Afin de pouvoir interpréter les résultats plus facilement, les moyennes des SRM mesurées sur chaque cheval sont faites pour chaque jour d'évaluation et présentées dans le tableau XVIII et la figure 38:

Tableau XVIII: Moyennes des SRM pour les GrT et GrP

Jour	GrT	GrP
J0	10,1 +/- 3,3	9,3 +/- 3,2
J2	8,8 +/- 3,3	9,1 +/- 2,1
J7	7,0 +/- 2,4	6,5 +/- 2,1
J16	8,1 +/- 3,3	7,5 +/- 3,2
J21	6,5 +/- 3,1	6,9 +/- 3,2
Moyennes	**8,1 +/- 1,4**	**7,8 +/- 1,3**

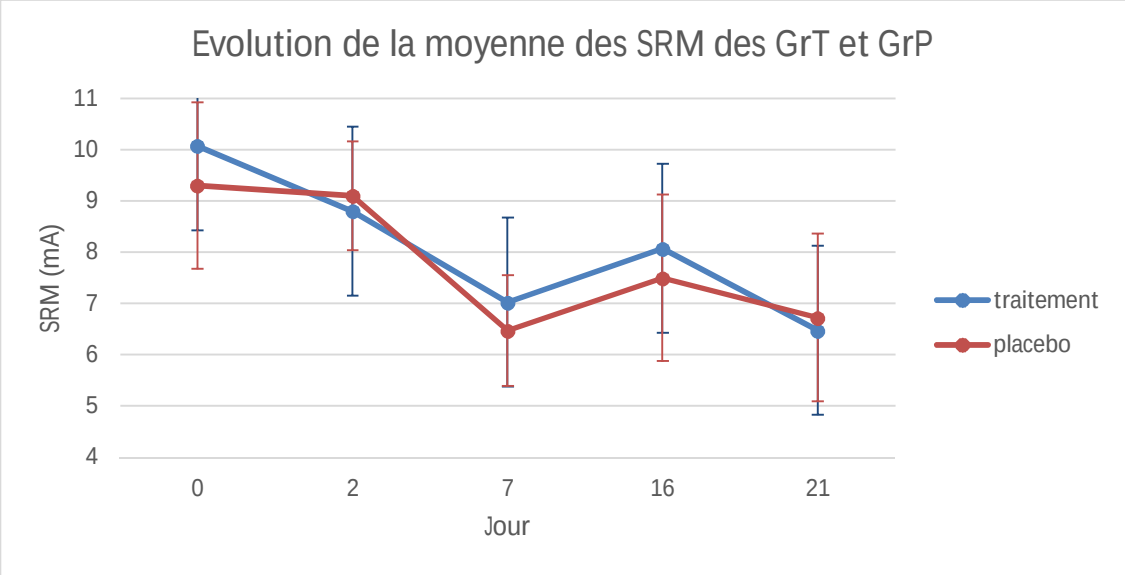


Figure 38: Evolution de la moyenne des SRM des GrT et GrP

→ Les résultats ont été analysés statistiquement avec un modèle linéaire mixte. L'analyse montre un **effet significatif** du jour sur le SRM (IC à 95% = [-0,22 ; -0,01]), c'est-à-dire que le temps à un effet significatif sur l'évolution du SRM et donc qu'il existe une différence significative entre les valeurs des SRM aux différents jours pour chaque cheval. Néanmoins, il n'y a **pas d'effet significatif du traitement** sur les valeurs du SRM.

Résumé :

- Une différence significative entre les moyennes des SRM avant et après la séance à J0 et J2 est observée dans les deux groupes, bien que la différence entre les mesures avant et après soit plus grande pour le groupe traité.
- En revanche, l'analyse statistique faite sur l'évolution des SRM tout au long du traitement ne révèle pas d'effet significatif du traitement mais révèle par contre un effet significatif du temps. Ce qui veut dire que la différence entre les valeurs des SRM aux différents jours d'évaluation est significative mais celle-ci n'est pas due au traitement.

D. Evaluation du cavalier

1. Confort général du cheval au travail avant les tests

Les résultats des évaluations par les cavaliers du confort général du cheval au travail avant la mise en place de la thérapie aux micro-courants ou le traitement placebo, sont présentés dans le tableau XIX.

Tableau XIX : Evaluation du confort général du cheval par les cavaliers avant traitement ou avant placebo

Cheval	GrT Score (/5)	GrP Score (/5)
Jingle de la Motte	1	1
Nerys des Landes	1	1
Aqua	2	1
T'inquiète	1	1
Rocco	1	2
Jeanmat	1	1
Syrmane	2	1
Via la Goutelle	1	1
Jonquille	1	1
Roxy	1	2
Moyennes	**1,2 +/- 0,4**	**1,2 +/- 0,4**

➢ Groupe traité :

Avant les séances de micro-courants, **le score moyen des chevaux est de 1,2 +/- 0,4**. Ce qui signifie qu'en moyenne les chevaux traités présentent de légères gênes (raideurs) dans certaines allures ou exercices qui s'améliorent avec l'échauffement.

➢ Groupe placebo :

Le score moyen du groupe avant le test placebo est de 1,2 +/- 0,4. Il est équivalent à celui évalué avant traitement : les chevaux du groupe « placebo » montrent de légères gênes dans certaines allures ou exercices qui s'améliorent à l'échauffement.

→ Aucune différence entre les moyennes avant traitement aux micro-courants et au traitement placebo.

2. Evaluation générale du cheval après le test

Après les séances de micro-courants ou placebo, les cavaliers ont évalué, au moyen du questionnaire transmis, une éventuelle modification de la qualité du travail, de la souplesse ressentie sous la selle de leur cheval, ainsi que, le cas échéant, la durée d'une amélioration. Cette évaluation a été réalisée **à l'aveugle**, les cavaliers ne sachant pas si leur cheval a eu un placebo ou un vrai traitement aux micro-courants. Tous les cavaliers ont répondu au questionnaire et pour les deux groupes. Les résultats sont présentés dans le tableau XX.

Tableau XX : Evaluation par le cavalier après traitement aux micro-courants ou après traitement placebo

Cheval	GrT Score (/4)	GrP Score (/4)	Durée d'amélioration (jours)	
			Groupe traité	Groupe placebo
Jingle de la Motte	2	0	8	0
Nerys des Landes	1	0	5	0
Aqua	3	3	15	7
T'inquiète	2	2	7	7
Rocco	1	2	5	7
Jeanmat	1	1	5	5
Syrmane	2	2	7	7
Via la Goutelle	2	1	15	4
Jonquille	1	0	5	0
Roxy	1	1	7	5
Moyennes	**1,6 ± 0,7**	**1,2 ± 1,0**	**7,9 ± 3,7**	**4,2 ± 3,0**

➢ Groupe traité :

Tous les cavaliers (10/10) ont perçu une amélioration de leur cheval. Un seul cavalier rapporte une nette amélioration (score 3/4), tandis que la majorité évalue cette amélioration de légère (5 cavaliers) à modérée (4 cavaliers). **Le score moyen d'amélioration est de 1,6 ± 0,7.**

Cette amélioration se traduit pour les cavaliers par *« des allures plus aériennes », « plus rebondies »*, ainsi que par une *« meilleure souplesse »* et une *« meilleure aisance »* dans la réalisation des exercices habituels.

Pour deux cavaliers, cette amélioration perdure deux semaines. Pour les huit autres elle persiste environ une semaine (5 à 8 jours). **La durée moyenne d'amélioration jugée par les cavaliers est de 7,9 ± 3,7 jours.**

➢ Groupe placebo :

La majorité des cavaliers (7/10) ont perçu une amélioration de leurs chevaux après les séances placebo. Trois d'entre eux ont ressenti une amélioration légère, trois autres une amélioration modérée et, enfin, un cavalier a trouvé une nette amélioration pour son cheval. Ce cavalier est le même que celui qui a jugé avec le même score l'amélioration de son cheval après les séances avec les micro-courants (cheval Aqua). Trois cavaliers sur dix n'ont détecté aucune amélioration de leur

cheval au travail. Pour les chevaux **du groupe placebo, le score d'amélioration moyen est de 1,2 ± 1,0.**

Pour les cavaliers qui ont perçu un certain mieux suite aux séances placebo, la durée de cette amélioration varie de 4 à 7 jours. **La durée moyenne d'amélioration pour le groupe placebo est de 4,2 ± 3,0 jours.**

→ La distribution des données ne suit pas une loi normale, la comparaison des moyennes se fait donc à l'aide du test non paramétrique de Mann-Whitney-Wilcoxon sur séries appariées.
Il n'y a **pas de différence significative** entre les scores d'amélioration des deux groupes (p-value= 0,357), ni de différence concernant la durée de cette potentielle amélioration (p-value= 0,065).

Résumé :

Même si à la lecture des résultats individuels, il apparaît qu'un nombre plus important de cavaliers (100% contre 70%) perçoit des améliorations après traitement aux micro-courants et que celles-ci sont légèrement plus grandes (score plus proche de 2 alors que pour placebo plus proche de 1) et pour des durées majoritairement plus longues, il n'y a aucune différence significative du point de vue statistique.
Il apparait donc que l'évaluation des cavaliers ne permet pas de faire la différence entre les chevaux traités et ceux qui n'ont pas été traités.

Synthèse des résultats :

- Mesures algométriques :
  - Aucune différence significative n'est observée entre la valeur des SNM avant et juste après la séance.
  - L'analyse par la méthode des comparaisons des moyennes des SNM globaux montre une augmentation significative pour le groupe témoin à partir de J2 pour le groupe traité, et aucune différence pour le groupe placebo.
  - En revanche, avec l'analyse de l'évolution au moyen du modèle mixte linéaire des moyennes des SNM globaux aux différents temps, l'effet du traitement sur la sensibilité dorsale n'apparait pas significatif.
  - L'analyse de la moyenne des SNM tout le long du pont vertébral pour tous les chevaux montrent un effet significatif du temps associé au traitement sur la sensibilité dorsale.
  - L'analyse des SNM le long du pont vertébral par cheval révèle que l'effet du temps et du traitement est significatif pour 8 chevaux sur 10.
- Mesures électrophysiologiques :
  - Une différence significative entre la mesure du SRM avant et après la séance est présente pour les deux groupes à J0 et J2, bien que la différence soit plus importante pour le groupe traité.
  - L'analyse de la mesure des SRM pour tous les chevaux ou l'analyse de leur moyenne ne montre pas d'effet significatif du traitement mais un effet significatif du temps. C'est-à-dire qu'au fil de la durée du test une différence entre les valeurs des SRM est significative mais dans les deux groupes et donc n'est pas due au traitement ou alors un effet placebo est observé.
- Evaluation des cavaliers :
  - Avant traitement, les chevaux présentent en moyenne tous quelques raideurs qui disparaissent à l'échauffement pour les deux groupes.
  - Après traitement, il semble qu'une amélioration est notée chez quasiment tous les chevaux pour le traitement et le placebo et que la durée d'amélioration est plus longue pour le groupe traité. Néanmoins aucune différence significative n'est mise en évidence.

III. Discussion

Cette étude a été réalisée de façon à ce que ses conditions de réalisation se rapprochent autant que possible de celles de la pratique de terrain :

- chevaux de cavaliers d'écurie de propriétaire ayant une pratique sportive régulière ;

- matériel d'usage courant et accessible sur le marché ;

- protocole de traitement équivalent à un protocole classique moyen d'électrostimulation à visée antalgique et facilement applicable par tout vétérinaire, voire par les cavaliers après instructions et démonstration ;

- évaluation au moyen de matériel peu onéreux facilement accessible avec des techniques aisées à mettre en œuvre par tout vétérinaire praticien.

Néanmoins un certain nombre d'inconvénients et de limites inhérentes à ce type d'étude seront discutés dans ce chapitre. Des contraintes de temps (en rapport avec la disponibilité des cavaliers et de leurs chevaux sur deux périodes distinctes dans un intervalle de temps imparti pour la préparation de thèse limité) ont pu également avoir une influence sur différents aspects du protocole et l'impact des résultats.

A. Les chevaux

L'étude a été réalisée sur 10 chevaux qui ont servi tous en tant que groupe témoin et en tant que groupe traité, ce qui peut être comparé à une étude sur 20 chevaux. Bien qu'un effectif de 10 animaux par groupe soit considéré suffisant pour valider des modèles d'étude et apporter une indication valable sur l'effet d'un traitement, en particulier chez les chevaux où il est difficile et rare de pouvoir recruter un nombre important d'animaux, le nombre de dix chevaux dans chaque groupe reste un effectif plutôt réduit, ce qui peut interférer sur la validation des résultats statistiques.

Le nombre de chevaux inclus dans l'étude correspond à celui dont les propriétaires ont accepté de mettre leur cheval à disposition et de le laisser au repos durant les tests (un mois à deux périodes distinctes de l'année) dans un périmètre géographique proche les uns des autres, au cours d'une période limitée à celle prévue pour la préparation de notre thèse.

En raison de l'effectif réduit de chevaux, les groupes ne sont pas parfaitement homogènes, que ce soit du point de vue de l'âge (2 chevaux ont entre 10 et 15 ans, 3 chevaux entre 15 et 20 ans, mais la moitié d'entre eux est âgée entre 5 et 10 ans), du sexe, de la discipline sportive pratiquée, de leur niveau sportif, ou celui de leurs cavaliers.

Certaines conditions peuvent être susceptibles d'engendrer des zones d'hypersensibilité dorsales plus que d'autres telles que les disciplines pratiquées (le saut d'obstacle sollicite de façon plus violente et différemment l'appareil musculo-squelettique que le dressage ou le travail en endurance), le type de harnachement utilisé (en particulier le type de selle en fonction de l'activité sportive, et son adéquation au dos du cheval), le niveau et l'expérience du cavalier et sa façon de

gérer l'exercice (qualité de l'échauffement, qualité de la récupération, travail adapté aux possibilités du cheval etc.).

En plus d'une variabilité interindividuelle de réponse à l'électrostimulation, constatées aussi bien chez les animaux que chez l'homme, l'âge, le sexe, et la différence de type d'activité et de qualité de musculature pourraient avoir une influence sur la réponse à l'électrostimulation. Les jeunes chevaux et les chevaux plus près du sang pourraient éventuellement être plus sensibles aux stimuli et répondre de façon plus marquée à des séances d'électrothérapie. Mais, aucune donnée scientifique n'existe sur ce sujet chez les animaux, encore moins en ce qui concerne les micro-courants.

Le fait d'avoir des chevaux de cavalier à l'exercice permet d'avoir des chevaux présentant des sensibilités dorsales augmentées, voire potentiellement dorsalgiques, à différents degrés et donc d'appliquer un protocole d'électrothérapie dans un contexte proche de la réalité du terrain.

B. Le protocole d'électrothérapie

Que cela soit suite à des efforts intenses et soutenus, suite à un traumatisme ou lors d'une affection douloureuse de l'appareil musculo-squelettique, les contractures musculaires réflexes ne manquent pas d'apparaître. Les fibres musculaires aérobies (I) ou à prédominance aérobie (IIa), sont très sensibles au manque de perfusion du fait de ces contractures, et ont tendance à se spasmer (Booth et Gould 1975). Ce qui engendre un état d'hypersensibilité dorsale et d'hyperexcitabilité (facilitation) musculaire entretenu par le cercle vicieux « douleur → contracture → spasme → douleur ». Les fibres musculaires s'atrophient rapidement et ont même tendance à fibroser dans les faisceaux profonds des muscles dorso-lombaires, en particulier dans les petits muscles juxta-vertébraux comme le muscle multifide, fixant et entretenant une dorsalgie (Stubbs 2011). En électrothérapie classique, les courants de très basse-fréquence (de type TENS « endorphiniques ») sont recommandés dans ces affections douloureuses du fait de leurs effets antalgiques mais aussi trophiques, car ils activent la perfusion des territoires traités. De la même façon, mais selon des mécanismes d'actions différents et peu connus encore de façon exacte, les micro-courants paraissent tout à fait appropriés et indiqués pour ce type d'affection. A l'instar de ce qui a été montré pour la cicatrisation cutanée (Cheng et al. 1982) ou encore sur les cardiomyocytes (Macfelda, Holly, et Mueller 2015) une augmentation de la concentration de l'ATP intracellulaire et de l'incorporation d'acides aminés au niveau du tissu musculaire pourrait favoriser le relâchement des ponts d'actine-myosine fixés par la contracture et la cicatrisation des microlésions des fibres musculaires, d'où une réduction des spasmes musculaires et de la douleur.

- **Fréquence de stimulation** : Pour ce type de traitement, il est préconisé, comme avec les courants TENS, des fréquences très basses de l'ordre de 0,5 ou 1,5 Hz (Mercola et Kirsch 1995) (Kirsch 2002)(Kirsch 2006)(Kirsch 2016a) (Frick 2007a).

- **Intensité de stimulation** : En nous basant sur un premier test, nous avons fixé, pour tous les chevaux l'intensité à 400 microampères, quel que soit leur statut algique. Si cette intensité de stimulation entre dans l'intervalle des valeurs préconisées dans le traitement de la douleur chez le

cheval (entre 100 et 600 microampères pour (Frick 2007a)), nous avons constaté que, contrairement à ce qui est décrit chez l'homme, les chevaux semblent avoir une certaine perception de ces courants. Il existe certainement une sensibilité individuelle à ces courants, et probablement plus ou moins marquée selon le statut algique du patient. Des tests de seuil de perception aux micro-courants sur un effectif conséquent de chevaux seraient intéressants à mettre en place et sur différentes régions du corps afin de déterminer de façon objective l'intensité optimale à appliquer avec les micro-courants, si cette intensité doit être la maximale confortable, ou sous le seuil de perception.

- Durée et rythme des séances : Il est classiquement préconisé en thérapie par les micro-courants des protocoles longs (sur deux semaines minimum) avec plusieurs séances par jour voire en application continue pour les premiers jours de traitement (Kirsch 2002)(Kirsch 2006) (Frick 2007a). Le protocole que nous avons adopté a été motivé :

- Par le fait de pouvoir confronter nos résultats avec des études sur les courants TENS, considérés comme les courants à visée antalgique de référence, sur des bases de protocoles comparables ;
- Pour des raisons d'organisation et du fait que les tests soient chronophages (séances de 30 minutes plus ou moins les mesures algométriques et électrophysiologiques).

Nos résultats montrent que des séances quotidiennes de 30 minutes, cinq jours à la suite ont produit un impact positif sur la sensibilité dorsale globale des chevaux, et ceci, dans la majorité des cas, dès les premières séances à J2, avec un effet maximal à la fin des cinq jours de traitement (J7).

Bien qu'aucune étude, que ce soit chez l'homme ou les animaux, ne permette de définir objectivement une durée optimale, ou minimale efficace, d'une séance de micro-courants, on peut se demander si des séances plus longues, ou plusieurs séances par jour, et sur une durée plus importante auraient permis d'objectiver un effet plus notable.

- Comparaison groupe traité/placebo : A partir du moment où il s'agit de courants de très faible ampérage réputés « sous le seuil de perception », appliqués pendant un temps relativement long, il était important de pouvoir objectiver un réel effet de ces micro-courants. Or, il est bien connu et admis qu'un contact maintenu et de faible pression (celui des électrodes juste posées avec un gel de contact) implique une stimulation tactile prolongée qui peut avoir des effets antalgiques à court terme par activation des mécanismes du « gate control » (Melzack et Wall 1965), voire être à l'origine de diminution des tensions musculaires sous-jacentes, par des mécanismes réflexes. A fortiori, chez le cheval qui a un seuil de sensibilité tactile particulièrement bas.

Sur un autre plan, le choix de comparer groupes témoin vs placebo sur le même cheval permet :

- D'une part, d'éviter de diviser l'effectif des chevaux en deux groupes de 5, et de garder un nombre plus important pour chaque groupe ;

- Et d'autre part, de réduire en quelque sorte le facteur aléatoire « cheval » du fait que, même si la sensibilité dorsale d'un même cheval peut varier d'un mois à l'autre, le cavalier est le même ainsi que le travail et donc la comparaison du traitement et du placebo se fait presque sur les mêmes bases.

- **Traitement bilatéral :** Certaines études sur l'électrostimulation du dos du cheval comparent, chez le même cheval, un côté traité à son controlatéral comme propre témoin (Bergh, Nordlöf, et Essén-Gustavsson 2010). A notre sens, ce type de protocole induit un biais, car :

    - Il a été montré aussi bien en électrostimulation musculaire qu'en stimulation à visée antalgique que toute stimulation réalisée de façon unilatérale a des répercussions sur le côté controlatéral aussi bien sur la motricité sensibilité que sur la sensibilité, en particulier avec des courants de très basses fréquences. (Carroll et al. 2006)(Somers et Clemente 2003)(Song et al. 2012) (Aarskog et al. 2007).
    - La réalisation d'un protocole d'électrothérapie visant à atténuer une quelconque douleur ou sensibilité de manière unilatérale pourrait avoir des effets néfastes sur le confort général du cheval, voire même engendrer des gênes supplémentaires sur le côté le plus douloureux. A l'inverse, si le protocole d'électrothérapie s'avère néfaste, l'unilatéralité de la douleur pose les mêmes inconvénients.

C. Les résultats

1. Mesures algométriques

L'application d'une pression progressivement croissante perpendiculairement à la peau à l'aide d'un algomètre, stimule les mécanorécepteurs cutanés et plexus pileux, puis pour des pressions plus intenses, recrute les terminaisons libres des nocicepteurs périphériques. Une diminution du SNM objectivé par algométrie (réaction de soustrait, contraction musculaire réflexe) pourrait être en rapport avec un seuil d'activation plus bas des nocicepteurs périphériques connectés aux terminaisons des nerfs rachidiens ; et/ou une augmentation de l'excitabilité du motoneurone alpha, témoins d'une douleur locale. L'augmentation du SNM après traitement aux micro-courants pourrait donc être synonyme d'un effet antalgique.

L'application des micro-courants selon notre protocole, a montré :

① Un impact positif notable sur la sensibilité dorsale globale et, de façon particulière, chez chaque cheval, sur tous les segments vertébraux qui montraient des Seuils Nociceptifs Mécaniques diminués (en dessous de 7,5 Kg/cm²), et d'autant plus que le SNM était bas.

② Que dans la majorité des cas, l'élévation du SNM était observée dès les premières séances (J2) ;

③ Qu'il y a une tendance à la sommation des effets, puisque dans la grande majorité des cas l'augmentation significative maximale est à J7, après la fin des 5 séances ;

④ Que cet effet se prolonge en général sur environ deux semaines après la fin des séances.

Pris individuellement, 8 chevaux sur 10 montrent une réponse significativement favorable au traitement. Les deux chevaux restants, n'ont montré aucune modification significative de leur sensibilité globale. Aqua et Jonquille ont un SNM global moyen à J0 largement au-dessus de 7

kg/cm² (7,5±0,9 et 7,4±0,8). C'est-à-dire qu'elles ne sont pratiquement pas sensibles du dos. Par contre, pour ces mêmes deux chevaux les segments qui présentent les SNM les plus faibles, ont vu la valeur augmenter notablement après le traitement.

De façon générale, il est intéressant de noter que les chevaux qui montrent un effet significatif du temps et/ou du traitement sont des chevaux qui présentent une sensibilité dorsale globalement ou partiellement supérieure aux autres chevaux (moyenne à J0). Les chevaux qui sont moins sensibles ne présentent pas d'effets significatifs du temps ni du traitement. Ceci s'explique du fait que lorsque la sensibilité est supérieure à 7 kg/cm² pour un point testé, celui-ci est considéré comme très peu ou quasiment pas sensible.

Pour l'analyse statistique de l'évolution de la SNM, nous avons travaillé essentiellement sur la SNM moyenne globale par cheval (correspondant à la moyenne de tous les points para-vertébraux droits et gauches et ceux des sommets des processus épineux). Ceci reflète la sensibilité globale moyenne de l'ensemble du pont vertébral par cheval. Mais ce modèle statistique ne permet de refléter certaines réalités pratiques :

- Le calcul de la moyenne globale des SNM par cheval peut masquer des évolutions notables concernant une région particulière du pont vertébral. Les valeurs élevées des SNM de segments ou zones très peu ou pas sensibles (au-dessus de 7 Kg/cm²) peuvent lisser la valeur globale moyenne de l'ensemble de la colonne et masquer une évolution notable d'un segment précis, la rendant non significative du point de vue statistique. Or, en pratique, même si certains chevaux peuvent montrer une sensibilité augmentée de l'ensemble du dos, la majorité des chevaux de sport et de loisir montrent, comme pour notre effectif, des régions précises et plus limitées de sensibilité dorso-lombaire.

- Dans le même ordre d'idée, la majorité des chevaux montrent une asymétrie des SNM montrant, selon le cheval, une sensibilité plus marquée d'un côté ou de l'autre, ce qui reflète la réalité du terrain montrant des chevaux réticents ou ayant des difficultés à s'incurver dans un sens ou dans l'autre. L'analyse limitée à la moyenne globale des SNM par cheval ne permet pas de mettre en évidence une éventuelle amélioration (ou détérioration) de ce point de vue.

Il aurait pu être envisagé une analyse complémentaire axée sur l'étude de l'évolution des SNM des segments les plus sensibles par cheval (englobant par exemple les 5 segments de part et d'autre du segment montrant la valeur de SNM la plus basse, ce qui fait une analyse sur 15 points) mais le modèle statistique final aurait été trop complexe ou non valable (Professeur ML Delignette-Muller, UP Biologie fonctionnelle, Biostatistique et Epidémiologie de VetagroSup ; « communications personnelles » , 2016).

Il était impossible de prévoir la sensibilité du pont vertébral à l'avance. Comme pour éviter toute interférence entre deux séries de tests, les séances placebo et les séances traitement ont été réalisées à des intervalles de plus de 3 mois, et selon la disponibilité des chevaux et de leurs cavaliers, il s'est trouvé que certains chevaux se sont trouvés plus sensibles à J0 en groupe placebo qu'en groupe traité ou vice-versa. Ce qui peut avoir une influence sur la significativité des résultats. En effet, si un cheval a une sensibilité moyenne globale à J0 supérieure ou égale à 7 kg/cm², il n'est

que très peu sensible et la marge de diminution de la sensibilité est très faible. Ce qui peut donc aussi expliquer qu'une analyse statistique peut se révéler non significative.

2. Mesures électrophysiologiques

Le seuil de réponse musculaire (SRM) tend, d'une part, à augmenter de manière significative juste après la séance chez quasiment tous les chevaux et, d'autre part, à diminuer de manière significative chez tous les chevaux dans le groupe traité et dans le groupe placebo.

Cette évolution du SRM est comparable à ce qui a été mis en évidence dans deux études sur le dos du cheval évaluant l'une des courants TENS de très faible fréquence(Guérin 2011), et l'autre un protocole d'électrostimulation musculaire avec une phase initiale de courants non tétaniques à très faible fréquence (Schwaab 2014).

L'augmentation du SRM juste après la séance peut être liée à une élévation du seuil d'excitabilité des motoneurones alpha et/ou une augmentation du seuil de stimulation des fibres sensitives des branches dorsales des nerfs rachidiens. Vu que le SNM n'est pas significativement augmenté juste après la séance à J0, la première hypothèse est la plus plausible. La majorité des chevaux se calment et s'endorment presque au cours de la séance, probablement en rapport un effet myorelaxant des micro-courants.

La diminution progressive du SRM au fil des séances et du temps est plus complexe à interpréter. Dans le groupe traité, elle est parallèle à l'augmentation du SNM. On peut penser qu'à plus long terme, le dos étant moins sensible, les muscles montrent une adaptation et deviennent plus réactifs et prêts à répondre plus vite à une stimulation. Cette adaptation pourrait passer par des mécanismes de régulations segmentaires (Trimble et Enoka 1991)(Jubeau et al. 2006)(Hortobágyi et Maffiuletti 2011).

Nos résultats montrent toutefois une évolution tout à fait comparable des SRM pour le groupe placebo. Bien que, pris individuellement, et pour la grande majorité des chevaux du groupe traité, les variations du SRM (augmentation juste après séance, et diminution progressive au cours du temps) soient plus importantes en valeurs absolues, il n'apparaît aucune différence statistiquement significative entre les deux groupes.

Le contact prolongé des électrodes et du gel pourrait expliquer l'augmentation du SRM après chaque séance placebo. L'évolution après la fin des séances semble bien être en rapport avec un véritable effet « placebo ».

Il est donc difficile de conclure de façon définitive ici sur l'effet des micro-courants sur le paramètre « SRM ». Des mesures sur un nombre plus important de chevaux, et sur des animaux montrant une sensibilité dorsale plus marquée sont nécessaires pour objectiver l'impact effectif du traitement sur ce paramètre. Mais aussi, il faudrait vérifier alors si des courants administrés avec des intensités de l'ordre du microampère peuvent influencer des paramètres mesurés au moyen des courants d'électrostimulation « classiques » de référence à des intensités de l'ordre du milliampère.

3. Examen palpatoire et évaluation des cavaliers

L'examen palpatoire a pour but d'évaluer le cheval dans sa globalité et de mettre en évidence des zones sensibles avant même l'examen algométrique. La corrélation entre les zones détectées sensibles à l'examen palpatoire et celles dont les SNM mesurés sont bas est très bonne (76 % selon HUE 2010).

- De façon globale, l'évaluation des chevaux avant le test montre une bonne homogénéité dans les deux groupes, avec un score moyen des chevaux égal à 1,2/5 environ, ce qui correspond à des chevaux présentant de légères gênes s'améliorant à l'échauffement. Toutefois, il apparaît une nette discordance à J0 pour certains chevaux entre l'évaluation du cavalier d'une part, et les résultats de l'examen palpatoire et les tests algométriques d'autre part. Ainsi, par exemple, Via, Rocco et Nerys ont été noté avec un score de 1/5 alors que les tests d'avant la première séance montraient des chevaux bien sensibles (pour Via, avec SNM moyen inférieur à 5,5) ou modérément sensibles (Rocco et Nerys avec un SNM moyen entre 5,5 et 6,5) avec notamment plusieurs segments vertébraux très sensibles (SNM < 4,5) chez Via et Nerys.

- Après les séances, même s'il apparaît de façon globale un score d'amélioration légèrement plus élevé et pour une durée un peu plus longue pour le groupe traité par rapport au groupe placebo, il n'existe aucune différence significative du point de vue statistique entre les évaluations des cavaliers après traitement ou après placebo. En d'autre terme, si les cavaliers trouvaient que leur cheval avait des allures plus rebondies et aériennes pendant cette période, leur évaluation ne permet pas de faire une différence entre les chevaux ayant reçu un traitement et ceux qui ont reçu un faux traitement. Un effet placebo chez le cavalier ne peut être exclu même s'il ne savait pas quel test était pratiqué (traité ou placebo) sur son cheval au moment de chaque évaluation.

Même si elles sont qualitatives et subjectives, les évaluations des cavaliers révèlent plutôt bien leur ressenti et sont des outils complémentaires toujours intéressants dans une évaluation d'effets thérapeutiques chez les chevaux de sport. Dans notre étude, il aurait fallu être plus précis dans le questionnaire d'évaluation du cheval après le test, en identifier les exercices à problème et voir si ces exercices s'amélioraient ou se détérioraient après le traitement/placebo bien que d'autres facteurs extérieurs peuvent influencer cette évaluation.

4. Comparaison avec d'autres études

A ce jour, et à notre connaissance il n'existe aucune étude publiée dans des revues référencées évaluant l'effet des micro-courants chez le cheval ou d'autres animaux domestiques, que ce soit sur des rachialgies ou des douleurs d'origines diverses.

Les rares études chez l'homme sur l'intérêt des micro-courants sur les douleurs dorso-lombaires montrent un effet positif, avec une amélioration jugée, comme dans notre étude, majoritairement modérée par les patients effectuant cette évaluation au moyen d'échelles de douleur (Lerner et Kirsch 1981)(Smith 2001). L'effet « placebo » que nous avons observé, est classiquement décrit et rapporté dans les électrothérapies transcutanées que ce soit avec les micro-courants ou avec les TENS (Thorsteinsson et al. 1978)(Lerner et Kirsch 1981), mais l'effet du traitement reste significativement supérieur au placebo.

Nos résultats peuvent être comparés à ceux de l'étude sur les TENS réalisée par Guérin C (2011) à l'unité de Physiothérapie-rééducation-ostéopathie de VetagroSup, avec les mêmes moyens d'évaluation, sur des chevaux de cavaliers et avec un protocole d'étude relativement proche. Les patterns des courbes des SNM sur l'ensemble du pont vertébral sont très comparables avec les mêmes zones de plus grande sensibilité (base du garrot et autour de la charnière thoraco-lombaire) et nos résultats concernant l'évolution du SNM et du SRM s'en rapprochent beaucoup : nous retrouvons d'une part l'augmentation du SNM, l'effet de sommation des séances et l'effet bénéfique persistant jusqu'à au moins deux semaines après l'arrêt des séances, et d'autre part l'augmentation du SRM après chaque séance et sa diminution progressive avec la durée du traitement. Toutefois, les effets des TENS étaient nettement plus marqués avec des valeurs des SNM et des SRM significativement plus élevés après traitement par rapport au groupe témoin/placebo. Ceci pourrait éventuellement s'expliquer par le fait que les chevaux dans l'étude de Guérin G étaient beaucoup plus sensibles à J0 que notre effectif avec des valeurs moyennes des SNM nettement plus basses (plus proches de 4-5 Kg/cm²).

D. Perspectives

A notre connaissance, notre étude est la première qui évalue l'effet des micro-courants sur la sensibilité dorsale chez le cheval, en comparant groupe traité et groupe témoin. De façon plus générale, nous pouvons aussi dire qu'elle constitue un premier regard, sur l'effet potentiellement bénéfique des micro-courants dans le traitement de la douleur en thérapeutique vétérinaire.

Ce premier travail a permis de montrer :

- D'une part, la facilité de la mise en place d'une thérapie aux micro-courants, son innocuité et sa très bonne tolérance chez le cheval ;

- D'autre part, un effet positif globalement significatif sur les paramètres évaluant la sensibilité du dos chez les animaux testés, ce qui fait des micro-courants une thérapie potentiellement intéressante des dorsalgies chez le cheval.

Ces aspects sont autant de points encourageant à développer et explorer plus loin l'utilisation de cette thérapie dans le traitement des douleurs dorso-lombaires, mais aussi les rachialgies de

façon plus générale, ainsi que les douleurs de nature et d'origine diverses (aigue, post-opératoire, neurogène ...).

A cet effet, Il faudrait néanmoins mener des études avec :

- autant que possible, un effectif plus grand et présentant plus d'homogénéité quant à l'âge, le sexe, la race, le type d'activité sportive et le niveau sportif des chevaux et de leurs cavaliers ;

- des chevaux souffrant de dorsalgies « vraies » et cliniquement objectivées ;

- des dates d'évaluations à plus long terme après l'arrêt des séances (à 1 mois, puis 3 mois par exemple) ;

- des variantes de protocoles et de paramètres de traitement de façon à en déterminer les caractéristiques optimales (fréquence et intensité du courant, la longueur de la séance, le rythme et la durée du traitement). Par exemple, dans la majorité des recommandations chez l'homme, des séances répétées dans la journée et des traitements de longues durées sont préconisés (plus de deux semaines). Mais ceci peut rendre la thérapie au micro-courant relativement contraignante à mettre en place dans les conditions d'une pratique ambulante.

- envisager le recours à des moyens complémentaires d'évaluation, comme le suivi de certains marqueurs de douleur ou fatigue musculaire chez le cheval tels que la Créatinine Kinase (CK) ou le lactate déshydrogénase (LDH) comme cela a été mis en évidence dans certaines études sur les micro-courants chez l'homme (Rapaski et al. 1991)(Da-Haeng Kang, Jae-Keun Jeon, et Joon-Hee Lee 2015).

CONCLUSION

La thérapie aux micro-courants (TMC) est une technique d'électrostimulation utilisant des courants de très faible amplitude (de l'ordre du microampère), en-dessous du seuil de la perception. Chez l'homme, les micro-courants sont utilisés pour traiter la douleur de diverses origines (post-opératoire, rachialgies, migraine...), stimuler la cicatrisation des tissus, et dans le traitement de troubles psychologiques (anxiété, dépression, insomnie...). Les études chez l'homme tendent à montrer une bonne efficacité dans ces indications et les stimulateurs à micro-courants ont été agréés par la FDA aux Etats-Unis. Toutefois, leur mode d'action, différent de celui des courants antalgiques TENS classiques, reste encore mal connu, et la compréhension de leur action sur les différents tissus toujours en cours de recherche.

L'utilisation des micro-courants en physiothérapie vétérinaire est très récente aux USA et encore anecdotique en France. Le niveau d'efficacité dans différentes affections, et les paramètres optimaux de stimulation sont encore loin d'être connus et les données scientifiques sont très rares. Sa facilité de mise en œuvre et son innocuité font de cette technique une thérapie intéressante à explorer, en particulier dans les affections chroniques, telles que les dorsalgies du cheval, unes des préoccupations majeures des cavaliers et des vétérinaires.

Nous avons évalué l'impact d'un protocole de thérapie aux micro-courants sur la sensibilité dorsale chez 10 chevaux de cavaliers de sport et de loisir. Chaque cheval a été soumis à deux tests : un traitement placebo, puis, dans un second temps, un traitement de 5 séances de 30 minutes sur 5 jours consécutifs de TMC à très basse fréquence (F=1,5 Hz). L'impact du traitement a été évalué par mesure du seuil nociceptif mécanique (SNM) par algométrie d'une part, et du seuil de réponse musculaire à l'électrostimulation (SRM) au moyen d'un appareil d'électrostimulation d'autre part. Les évaluations ont eu lieu à J0, J0+2, J7, J16 et J21. L'avis des cavaliers a été consulté à l'aveugle au moyen d'un questionnaire d'évaluation simple (attitude au travail, souplesse...). L'analyse statistique a été réalisée avec des tests de comparaison des moyennes et avec un modèle linéaire mixte.

Notre étude a montré :

- **Une très bonne tolérance** au traitement de la part de tous les chevaux ;

- **Une élévation du SNM, traduisant une baisse de la sensibilité du pont vertébral**, pour le groupe traité à partir de J7 et se prolongeant jusqu'à J21 (15 jours après arrêt des séances), avec effet significatif du traitement et du temps pour 8 chevaux sur 10. Le SNM n'a montré aucun changement pour le groupe placebo.

- **Une élévation significative du SRM chez les chevaux traités après chaque séance de MC à J0 et J2 montrant un effet immédiat** qui peut être expliqué par une réduction de l'excitabilité des motoneurones alpha. Par contre, l'évolution du SRM avec le temps montre une grande variabilité d'un cheval à l'autre, est difficilement interprétable et paraît indépendante du traitement.

Un effet placebo a été observé concernant le SRM avec une augmentation après chaque séance à J0 et J2, alors que le stimulateur n'était pas en marche. Cette élévation du SRM est deux fois moins élevée que pour le groupe traité, mais s'est révélée statistiquement significative. Cela pourrait être en rapport avec le contact prolongé des électrodes et du gel sur les masses musculaires vertébrales des chevaux.

Bien que tous les cavaliers du groupe traité rapportent une amélioration légère à modérée du confort et de la locomotion de leur cheval à l'exercice sur une durée moyenne de 1 semaine après arrêt du traitement, tandis que cette amélioration n'est perçue que par 7 cavaliers et sur moins d'une semaine après les séances placebo, aucune différence significative n'est mise en évidence quant à l'évaluation des cavaliers entre les deux groupes.

Cette étude est la première évaluant l'effet des micro-courants sur la sensibilité du dos chez le cheval et réalisée avec témoin/placebo. Les résultats sont encourageants et montrent un effet potentiellement bénéfique des micro-courants. Néanmoins ce travail nécessite d'être complété par des études portant sur un plus grand effectif et des groupes plus homogènes, des chevaux souffrant de dorsalgies objectivement diagnostiquées (imagerie), et des études comparatives avec des paramètres différents (fréquence, intensité du courant).

L'électrothérapie par micro-courant est assurément une méthode prometteuse dans le traitement complémentaire de la douleur chez l'animal. Elle offre également d'autres champs à explorer et approfondir en médecine vétérinaire, telles que la cicatrisation des tissus, notamment des nerfs, tendons et plaies, de même que dans le traitement de l'anxiété et des conséquences du stress chez l'animal de sport ou de compagnie.

Thèse de Mme NUELLAS Sandy

Le Professeur responsable
VetAgro Sup campus vétérinaire
Le Dr. SAWAYA S.

Le Directeur général
VetAgro Sup
Par Délégation
Dr. L. FREYBURGER
Directeur de l'Enseignement
et de la Vie Étudiante
VetAgro Sup Campus vétérinaire

Le Président de la thèse
Le Dr. SERVIEN E.

Professeur Elvire SERVIEN
CHIRURGIE ORTHOPÉDIQUE ET TRAUMATOLOGIQUE
Pavillon R
Hôpital de la Croix Rousse
103, Grande rue de la Croix Rousse
69317 LYON CEDEX 04
RPPS 10003133880 - Finess 690784152

Vu et permis d'imprimer
Lyon, le 27 SEP. 2016

UNIVERSITÉ CLAUDE BERNARD LYON I

Pour **Le Président de l'Université,**
Le Président du CCEM Pierre COCHAT

BIBLIOGRAPHIE

Aaron, R.K., et B.J. Simons. 2004. « Treatment of non-unions with electric and electromagnetic field. » *Clinical Orthopaedics and Related Research* (419): 21-29.

Aaron, Roy K., Barbara D. Boyan, Deborah McK Ciombor, Zvi Schwartz, et Bruce J. Simon. 2004. « Stimulation of Growth Factor Synthesis by Electric and Electromagnetic Fields. » *Clinical Orthopaedics and Related Research* (419): 30-37.

Aarskog, R, MI Johnson, JH Demmink, A Lofthus, V Iversen, R Lopes-Martins, J Joensen, et JM Bjordal. 2007. « Is mechanical pain threshold after transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) increased locally and unilaterally? A randomized placebo-controlled trial in healthy subjects. » *Physiotherapy Research International* 12 (4): 251-263.

Alpha Stim distributors. 2016. « History of the Waveform. » *Begin Healing, Inc.* Consulté le septembre 24. http://www.beginhealing.com/healthcare-professionals/history-of-the-waveform/.

Alvarez, O. 1983. « The healing of superficial skin wounds is stimulated by external electrical current. » *Journal of investigative dermatology* 81 (2): 144-148.

Asadi, M.R., et G. Torkaman. 2014. « Bacterial Inhibition by Electrical Stimulation. » *Advances in Wound Care (New Rochelle)* 3 (2): 91-97.

Banerjee, J., P. Das Khatak, S. Roy, S. Khanna, E.K. Sequin, et K. Bellmann. 2014. « Improvement of human keratinocyte migration by a redox active bioelectric dressing. » *Plos One* 9 (3):e89239.

Bergh, A, H Nordlöf, et B Essén-Gustavsson. 2010. « Evaluation of neuromuscular electrical stimulation on fibre characteristics and oxidative capacity in equine skeletal muscles. » *Equine Veterinary Journal Suppl.* (38): 671-675.

Booth, F. W., et E. W. Gould. 1975. « Effects of Training and Disuse on Connective Tissue. » *Exercise and Sport Sciences Reviews* 3: 83-112.

Brighton, Carl T., Wei Wang, et Charles C. Clark. 2008. « The Effect of Electrical Fields on Gene and Protein Expression in Human Osteoarthritic Cartilage Explants. » *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume* 90 (4): 833-848.

Brighton, C.T., Z.B. Friedenberg, J. Black, J.L. Esterhai, J.E. Jr Mitchell, et F Jr Montique. 1981. « Electrically induced osteogenesis: relationship between charge, current density, and the amount of bone formed: introduction of a new cathode concept. » *Clinical Orthopaedics and Related Research* (161): 122-132.

Bystritsky, A., T.D. Moody, E. Hembacher, J. Hoffman, H. Moller, et J.D. Feusner. 2009. « Effects of cranial electrotherapy stimulation on brain activity in the resting state. » présenté à Presented at the American Society of Neuropsychopharmacology (ACNP), Hollywood, Florida.

Carroll, Timothy J., Robert D. Herbert, J Munn, Michael Lee, et Simon C. Gandevia. 2006. « Contralateral Effects of Unilateral Strength Training: Evidence and Possible Mechanisms. » *Journal of Applied Physiology* 101 (5): 1514-1522.

Chan, H.K.F, D.T.C Fung, et G.Y.F NG. 2007. « Effects of Low-Voltage Microamperage Stimulation on Tendon Healing in Rats. » *Journal of orthopaedic & sports physical therapy* 37 (7): 399-403.

Cheng, N, H Van Hoof, E Bockx, MJ Hoogmartens, JC Mulier, FJ De Dijcker, WM Sansen, et W De Loecker. 1982. « The effects of electric currents on ATP generation, protein synthesis, and membrane transport of rat skin. » *Clinical Orthopaedics and Related Research* (171): 264-272.

Clarke, N., D. Mills, et J. Marchant. 2000 « Evaluation of the potential efficacy of the Alpha-Stim SCS in the Horse. » Rapport d'étude de Montfort university lincoln.29p.

Crépon, F. 2009a. « Electrostimulation antalgique de très basse fréquence: libération d'endorphine et électroacupuncture », Actualité en électrophysiothérapie (503): 78-79.

Crépon, F. 2009b. « Electrostimulation antalgique par gate control », Actualité en électrophysiothérapie (201): 55-56.

Crépon, F. 2009c. « Electrostimulation et douleur », Actualité en électrophysiothérapie (505): 55-56.

Crépon, F., M. Vanderthommen, JF. Doubrère, E. Castel-Kremer, et G. Cadet. 2007. « Electrothérapie, électrostimulation. » *Kinésithérapie, médecine physique,réadaptation*, EMC, Elsevier Masson SAS,Paris, , 280p.

Curtis, D., S. Fallows, M. Morris, et C. McMakin. 2010. « The efficacy of frequency specific microcurrent therapy on delayed onset muscle soreness. » *Journal of Bodywork and Movement Therapies* 14 (3): 272-279.

Da-Haeng Kang, Jae-Keun Jeon, et Joon-Hee Lee. 2015. « Effects of low-frequency electrical stimulation on cumulative fatigue and muscle tone of the erector spinae. » *Journal of Physical Therapy Science* 27 (1): 105-108.

De Campos Ciccone, Ca., D.C. Zuzzi, L.M. Grosso Neves, J. Sampaio Mendonça, P. Pinto Joazeiro, et M.A. Marretto Esquisatto. 2013. « Effects of Microcurrent Stimulation on Hyaline Cartilage Repair in Immature Male Rats (Rattus Norvegicus). » *BMC Complementary and Alternative Medicine* 13: 17.

Dolhem, R. 2008. « The history of electrostimulation in rehabilitation medicine. » In *Annales de réadaptation et de médecine physique*, elsevier masson, 51:427-31.

Dumoulin J et Bisschop G. 1980. *électrothérapie*. 4ème édition. Paris: Maloine S.A.725p.

Electromedical products International. 2013. « Alpha Stim M Manuel du propriétaire. »32p.

Electromedical Products International, Inc. s. d. 2013. « Cd-Rom electric Body Electrique Mind 2 Alpha Stim. »

Feusner, J.D., S. Madsen, T.D. Moody, C. Bohon, E. Hembacher, S.Y. Bookheimer, et A. Bystritsky. 2012. « Effects of Cranial Electrotherapy Stimulation on Resting State Brain Activity. » *Brain and Behavior* 2 (3): 211-220.

Fischer, Andrew A. 1987. « Pressure algometry over normal muscles. Standard values, validity and reproducibility of pressure threshold. » *Pain* 30 (1): 115-126.

Fransoo, Patrick. 2009. « L'algomètre de pression. » *Kinésithérapie, la Revue*, Orthèses de la main : principes de confection, 9 (95): 44-47.

Frick, A. 2007a. « Alpha-Stim therapy for animals. Veterinary supplement to Alpha-Stim -100 Owners manual. » Electromedical Products International.4p.

Frick, A. 2007b. « Using Alpha-Stim in a veterinary practice. Clinical Cases. » Alpha Waves; Integrative Veterinary Education Inc. http://www.beginhealing.com/html/alpha-stim/veterinary/default.htm. Consulté le mars 13.

Frick, A. 2014. Guide for using microcurrent electrotherapy. Consulté le mars 13. www.alpha-stim.com.

Frick, A., et D. McCauley. 2005. « Microcurrent electrical therapy. » *Journal of Equine Veterinary Science* 25 (10): 418-422.

Fujiya, H., Y. Ogura, Y. Ohno, A. Goto, A. Nakamura, K. Ohashi, D. Uematsu, H. Aoki, H. Musha, et K. Goto. 2015. « Microcurrent Electrical Neuromuscular Stimulation Facilitates Regeneration of Injured Skeletal Muscle in Mice. » *Journal of Sports Science & Medicine* 14 (2): 297-303.

Gadsby, J.G., et S.W. Flowerdew. 2007. « Transcutaneous electrical nerve stimulation and acupuncture-like transcutaneous electrical nerve stimulation for chronic low back pain. » *Cochrane Database Syst Rev* 18 (1).

Gilula, M.F., et D.L. Kirsch. 2005. « Cranial electrotherapy stimulation review: a safer alternative to psychopharmaceuticals in the treatment of depression. » *Journal of Neurotherapy* 9 (2): 7-26.

Gobelet, C. 1998. « Electromyostimulation et cellule musculaire striée. » *Annales de Réadaptation et de Médecine Physique*, Elsevier édition, 4 (41): 183-188.

Guérin, C. 2011. « Evaluation des courants antalgiques TENS par mesure du seuil de sensibilité à la pression au moyen d'un algomètre chez le cheval. » Thèse, Vetagro-Sup, Université de Lyon.167p.http://alex.vetagro-sup.fr/Record.htm?idlist=7&record=19402924124912201069.

Harding, A.C., J. Gil, J. Valdes, M. Solis, et S.C. Davis. 2012. « Efficacy of a bio-electric dressing in healing deep, partial-thickness wounds using a porcine model. » *Ostomy wound manage* 58 (9): 50-55.

Haussler, K. K., T. H. Behre, et A. E. Hill. 2008. « Mechanical Nociceptive Thresholds within the Pastern Region of Tennessee Walking Horses. » *Equine Veterinary Journal* 40 (5): 455-459.

Haussler, K. K., et H. N. Erb. 2006. « Mechanical Nociceptive Thresholds in the Axial Skeleton of Horses. » *Equine Veterinary Journal* 38 (1): 70-75.

Hortobágyi, T., et N.A. Maffiuletti. 2011. « Neural Adaptations to Electrical Stimulation Strength Training. » *European Journal of Applied Physiology* 111 (10): 2439-2449.

Howson, DC. 1978. « Peripheral Neural Excitability. Implications for Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation. » *Physical Therapy* 58 (12): 1467-1473.

Hue, S. 2010. « Evaluation du seuil de sensibilité dorsale à la pression au moyen d'un algomètre avant et après traitement ostéopathique chez le cheval. » Thèse, Vetagro-Sup, Université deLyon.192p.http://alex.vetagro-sup.fr/Record.htm?idlist=11&record=19494345124912125279.

Hwang, Y. 1994. « Anatomy and classification of acupoints. » *In: Schoen AM, ed. Veterinary acupuncture, ancient art to mod- ern medicine, Goleta, CA: American Veterinary Publishing Inc.*

Iodice, P., G. Lessiani, G. Franzone, et G. Pezzulo. 2016. « Efficacy of pulsed low-intensity electric neuromuscular stimulation in reducing pain and disability in patients with myofascial syndrome. » *Journal of Biological Regulators & Homeostatic Agents.* 30 (2): 615-620.

Jubeau, M., R. Zory, J. Gondin, A. Martin, et N.A. Maffiuletti. 2006. « Late Neural Adaptations to Electrostimulation Resistance Training of the Plantar Flexor Muscles. » *European Journal of Applied Physiology* 98 (2): 202-211.

Kennerly, R.C. 2006. « Changes in quantitative EEG and low resolution tomography following cranial electrotherapy stimulation. » University of North Texas.529p.

Kim, H., I. Makin, J. Skiba, A. Ho, G. Housler, et A. Stojadinovic. 2014. « Antibacterial Efficacy Testing of a Bioelectric Wound Dressing Against Clinical Wound Pathogens. » *Open Microbiology Journal* 8: 15-21.

Kirsch, D.L. 2002. *A practical protocol for electromedical treatment of pain.* CRC Press, Boca Raton. Pain Management: A Practical Guide for Clinicians (the textbook of the American Academy of Pain Management). Florida: Richard S. Weiner.

Kirsch, D.L. 2006. « Microcurrent electrical therapy (MET). » *Practical Pain Management* 7 (6): 59-64.

Kirsch, D.L. 2016a. « Microcurrent Electrical Therapy Mechanisms and Results. » *Practical Pain Management*. http://www.practicalpainmanagement.com/treatments/microcurrent-electrical-therapy-mechanisms-results. Consulté le 09/01/2016.

Kirsch, D.L. 2016b. « Microcurrent Electrical Therapy (MET): A Tutorial. » *Practical Pain Management*. http://www.practicalpainmanagement.com/treatments/microcurrent-electrical-therapy-met-tutorial. Consulté le 09/01/2016.

Kirsch, D.L., et A. Frick. 2005. « Alpha-Stim Treatment Protocol. Fiche technique. » Electromedical Products International; Mineral Wells, Texas, USA.2p.

Kirsch, D.L., et M.F. Gilula. 2007a. « A review and meta-analysis of cranial electrotherapy stimulation in the treatment of anxiety disorders – Part 1. » *Practical Pain Management* 7 (2): 40-47.

Kirsch, D.L. 2007b. « CES in the treatment of Depression. » *Practical Pain Management* 7 (4): 33-41.

Kirsch, D.L. 2007c. « CES in the treatment of insomnia: A review and meta-analysis. » *Practical Pain Management* 7 (8): 30-43.

Kirsch, D.L. 2007d. « Cranial electrotherapy stimulation in the treatment of anxiety disorders: statistical considerations – Part 2. » *Practical Pain Management* 7 (3): 29-32.

Kirsch, D.L., et F. Nichols. 2013. « Cranial Electrotherapy Stimulation for Treatment of Anxiety, Depression and Insomnia. » *Psychiatric Clinics of North America* 36: 169-176.

Kirsch, D.L., et K. Platoni. 2007. « Cranial Electrotherapy Stimulation: For Anxiety, Insomnia, Depression, PTSD, COS, and Pain. » présenté à Conference presented at the 10th Annual ForceHealth,Louisville,Kentucky. http://www.mybrainchemistry.com/Military_Presentation.html. Consulté le avril 16.

Klawansky, S., A. Yeung, C. Berkey, N. Shah, H. Phan, et T. Chalmers. 1995. « Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials of Cranial Electrostimulation: Efficacy in Treating Selected Psychological and Physiological Conditions. » *Journal of Nervous & Mental Disease* 183 (7): 478-485.

Kloth, L.C. 2005. « Electrical Stimulation for Wound Healing: A Review of Evidence From In Vitro Studies, Animal Experiments, and Clinical Trials. » *International Journal of Lower Extremity Wounds* 4: 23-44.

Koopman, Joseph S. H. A., Dorien H. Vrinten, et Albert J. M. van Wijck. 2009. « Efficacy of Microcurrent Therapy in the Treatment of Chronic Nonspecific Back Pain A Pilot Study. » *Clinical Journal of Pain* 25 (6): 495-499.

Lambert, M.I., et T. Burgess. 2004. « Microcurrent therapy and the treatment of soft tissue injury. » *International SportMed Journal* 5 (2): 141-146.

Lambert, M.I., P. Marcus, T. Burgess, et T.D. Noakes. 2002. « Electro-membrane microcurrent therapy reduces signs and symptoms of muscle damage. » *Medicine & Science in Sports & Exercise* 34 (4): 602-607.

Lapicque, L. 1938. *La chronaxie et ses applications physiologiques. Actualités Scientifiques et Industrielles*. Hermann et Cie. Physiologie générale du système nerveux.1015p.Paris, France.

Lee, SH. 2013. « Effects of cranial electrotherapy stimulation on preopeative anxiety, pain and endocrine response. » *Journal of international medical research* 41(6):1788-1795.

Lerner, FN, et DL Kirsch. 1981. « A double-blind comparative study of Micro-current Stimulation placebo effect in short term treatment of the chronic back pain patient. » *Journal of Chiropractic* 15: 101-106.

Lin, Y. L., H. Moolenaar, P. R. van Weeren, et C. H. A. van de Lest. 2006. « Effect of Microcurrent Electrical Tissue Stimulation on Equine Tenocytes in Culture. » *American Journal of Veterinary Research* 67 (2): 271-276.

Little, B., et M.A. Patterson. 1996. « Embryofetal effects of neuroelectric therapy. » *Electro and Magnetobiology* 15 (1): 1-8.

Macfelda, K, A Holly, et J. Mueller. 2015. « Significant Enhancement of ATP-Synthesis in Cardiomyocytes By Electric Microcurrent. » *Journal of Cardiac Failure, Abstracts From the 19th Annual Scientific Meeting Heart Failure Society of America September* 21: 19-25.

Melzack, R, et PD Wall. 1965. « Pain mechanisms, a new theory. » *Science* 150: 971-979.

Mercola, J.M., et D.L. Kirsch. 1995. « the basis for microcurrent electrical therapy in conventional medical practice. » *Journal of advancement in medicine* 8 (2):83-152

Millan, M.J. 2002. « Descending control of pain. » *Progress in neurobiology* 66: 355-474.

Molinier, F. 2003. *Traité d'acupuncture vétérinaire*. Editions Phu Xuan.12p. Paris, France.

Nishimura, K.Y., R.R. Isserroff, et R. Nuccitelli. 1996. « Human keratinocytes migrate to the negative pole in direct current electric fields comparable to those measured in mammalian wounds. » *Journal of Cell Science* 109: 199-207.

Nolan, Michael F. 1991. « Conductive Differences in Electrodes Used with Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation Devices. » *Physical Therapy* 71 (10): 746-751.

Ohno, Yoshitaka, Hiroto Fujiya, Ayumi Goto, Ayane Nakamura, Yuka Nishiura, Takao Sugiura, Yoshinobu Ohira, Toshitada Yoshioka, et Katsumasa Goto. 2013. « Microcurrent Electrical Nerve Stimulation Facilitates Regrowth of Mouse Soleus Muscle. » *International Journal of Medical Sciences* 10 (10): 1286-1294.

Park, S.H., et M. Silva. 2004. « Neuromuscular electrical stimulation enhances fracture healing results of an animal model. » *Journal of Orthopaedic Research* 22: 382-387.

Poltawski, L., et T. Watson. 2009. « Bioelectricity and microcurrent therapy for tissue healing – a narrative review. » *Physical Therapy Reviews* 14: 109-114.

Rapaski, D, S Isles, K Kulig, et D Boyce. 1991. « Microcurrent electrical stimulation: a comparison of two protocols in reducing delayed onset muscle soreness. » *Physical Therapy Journal* 71 (9): 676-678.

Reichmanis, M., A.A. Marino, et R.O. Becker. 1975. « Electrical correlates of acupuncture points. » *IEEE Transaction on Biomedical Engineering* 22 (6): 533-535.

Rexing, J., D. Dunning, A.M. Siegel, K. Knap, et B. Werbe. 2010. « Effects of Cold Compression, Bandaging, and Microcurrent Electrical Therapy after Cranial Cruciate Ligament Repair in Dogs. » *Veterinary Surgery* 39 (1): 54-58.

Richez, J., A. Chamay, et L. Bieler. 1972. « Bones changes due to pulses of direct electric microcurrent. » *Virchows Archiv a Pathological Anatomy* 357: 11-18.

Rocques CF. 1997. *Pratique de l'électrothérapie - électrophysiothérapie Pratique Appliquée à la Médecine Physique et à la Masso-kinésithérapie.* Springer.281p.

Sawaya, S. 2013c. « L'électrostimulation en physiothérapie animale II. les courants antalgique et TENS. » présenté à Formation en physiothérapie et rééducation fonctionnelle en médecine vétérinaire-Avetao, 8p, Lisses, France.

Sawaya, S. 2013b. « L'électrostimulation en physiothérapie vétérinaire III. Les courants excito-moteurs et électromyostimulation. » présenté à Formation en physiothérapie et rééducation fonctionnelle en médecine vétérinaire-Avetao, 12p, Lisses, France.

Sawaya, S. 2013a. « L'électrostimulation en physiothérapie vétérinaire I. Principes de base et paramètres fondamentaux en électrothérapie. » présenté à Formation en physiothérapie et rééducation fonctionelle en médecine vétérinaire-Avetao, 12p, Lisses, France.

Sawaya, S., D Combet, et E Maellier. 2010. « Comparaison des chronaxies motrices de muscles pelviens chez l'homme, le chien et le cheval. Conséquences sur la pratique de l'électrostimulation musculaire en physiothérapie vétérinaire. »

Sawaya, S., et E Maellier. 2005. « Experimental determination of muscle chronaxies for electrostimulation protocols in horses. » présenté à Proccedings of the 9th Equine Medicine and Surgery Congress, Geneva.

Sawaya, S., E Maellier, C. Combet, J.J. Thiébault, G. Chanoit, D. Levine, et D.J. Marcellin-little. 2009. « Comparison of several hind limb muscles chronaxies in human, dog and horse. » *Journal of Veterinary Internal Medicine* 23: 412-413.

Sawaya, S., E Maellier, C. Combet, J.J. Thiébault, D. Levine, et D.J. Marcellin-little. 2008. « Assessment of impulse duration thresholds for electrical stimulation of muscles (chronaxy) in dogs. » *American Journal of Veterinary Research* 69 (10): 1305-1309.

Schoen, A.M. 2000. « Equine Acupuncture: Incorporation into Lameness Diagnosis and Treatment. » *Proceedings of the AAEP Congress* 46: 80-83.

Schwaab, M. 2014. « Evaluation d'un protocole d'électromyostimulation du dos chez le cheval. Etude préliminaire. » Thèse, Vetagro-Sup, Université de Lyon.120p. http://alex.vetagro-sup.fr/Record.htm?idlist=1&record=19418928124912361009.

Shealy, R.C., R.K. Cady, D. Culver-Veehoff, R. Cox, et P. Liss. 1998. « Cerebralspinal fluid and plasma neurochemicals: response to cranial electrical stimulation. » *Journal of Neurological and Orthopaedic Medicine and Surgery* 18 (2): 94-97.

Smith, R.B. 2001. « Is Microcurrent stimulation effective in pain management. An additionnal perspective. » *American Journal of Pain Management* 11 (2): 64-68.

Somers, D. L., et F.R. Clemente. 2003. « The Relationship between Dorsal Horn Neurotransmitter Content and Allodynia in Neuropathic Rats Treated with High-Frequency Transcutaneous Electric Nerve stimulation1. » *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 84 (11): 1575-1583.

Song, Y., S. Forsgren, J. Yu, R. Lorentzon, et P.S. Stål. 2012. « Effects on Contralateral Muscles after Unilateral Electrical Muscle Stimulation and Exercise. » *PLOS ONE* 7 (12): e52230.

Stephen, J. 1999. « Cranial Electrotherapy Stimulation in Patients Suffering from Acute Anxiety Disorders. » *American Journal of electromedicine*. 16 (1):49-51

Stubbs, N. 2011. « Epaxial Musculature and its Relationship with Back Pain in the Horse. » Australia: School of Agriculture and Food Sciences, University of Queensland.189p.

Sugimoto, M., N. Maeshigé, H. Honda, Y. Yoshikawa, M. Uemura, et M. Yamamoto. 2012. « Optimum microcurrent stimulation intensity for galvanotaxis in human fibroblasts. » *Journal of Wound Care* 21 (5-6): 8-11.

Thorsteinsson, G, H.H Stonnington, G.K Stilwell, et L.R Elveback. 1978. « The placebo effect of transcutaneous electrical stimulation. » *Pain* 5: 31-41.

Trimble, M. H., et R. M. Enoka. 1991. « Mechanisms Underlying the Training Effects Associated with Neuromuscular Electrical Stimulation. » *Physical Therapy* 71 (4): 273-280; discussion 280-282.

Ud-din, S., A. Sebastian, P. Giddings, J. Colthurst, S. Whiteside, et J. Morris. 2015. « Angiogenesis Is Induced and Wound Size Is Reduced by Electrical Stimulation in an Acute Wound Healing Model in Human Skin. » *Plos One* 10 (4): e0124502.

Vanderthommen, M. 2005. « ELECTROMYOSTIMULATION : Analyse critique. » Université de Liège. http://www.eurokine.be/eurokine/select/gppj/gp05202.htm. Consulté le 02/06/2016.

Vanderthommen, M., F. Tube, B Jidovsteff, et FC Wang. 2010. « Analyse comparative de différentes modalités d'électrostimulation du quadriceps fémoral », la revue kinésithérapie 107: 36-40.

Varcoe-Cocks, K., K. N. Sagar, L. B. Jeffcott, et C. M. Mcgowan. 2006. « Pressure Algometry to Quantify Muscle Pain in Racehorses with Suspected Sacroiliac Dysfunction. » *Equine Veterinary Journal* 38 (6): 558-562.

Varhus, J.D. 2014. « A novel bioelectric device enhances wound healing : an equine case series. » *Journal of Equine Veterinary Science* 34 (3): 421-430.

Ylinen, J., M. Nykänen, H. Kautiainen, et A. Häkkinen. 2007. « Evaluation of repeatability of pressure algometry on the neck muscles for clinical use. » *Manual Therapy* 12 (2): 192-197.

ANNEXES

Annexe 1 : Comité d'éthique 119

Annexe 2 : Consentement éclairé des propriétaires.....120

Annexe 3: Fiche renseignement propriétaire/cheval et examen clinique général.....121

Annexe 4: Fiche examen palpatoire et ostéopathique 122

Annexe 5 : Fiche de suivi des mesures algométriques et électrophysiologiques.....123

Annexe 6 : Questionnaire évaluation cavalier 1 124

Annexe 7: Questionnaire évaluation cavalier 2.....125

Annexe 8 : Evolution des SNM pour chaque cheval le long du pont vertébral dans le GrT ou le GrP 126

Annexe 9 : Valeurs chiffrées des SRM pour chaque cheval et chaque test 133

Annexe 10 : Valeurs des moyennes des SNM pour tous les chevaux des deux groupes.....134

Annexe 1 : Comité d'éthique

VetAgro Sup

Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt

Institut d'enseignement supérieur et de recherche
en alimentation, santé animale, sciences agronomiques et de l'environnement

COMITE D'ETHIQUE
Président : Alain DORIER
Secrétariat : Anne-Marie BUXTON
cometh@vetagro-sup.fr
Tél. : 0478872533

à

M. Ludovic Freyburger
Directeur de l'Enseignement et de la Vie étudiante

Cher Monsieur,

Nous vous informons que la Commission Permanente du Comité d'Ethique a bien pris acte du sujet de thèse d'exercice vétérinaire de Mme Sandy Nuellas sur "l'impact de l'application de micro-courants sur la sensibilité dorsale chez le cheval : évaluation par algométrie".

Des documents de consentement éclairé des propriétaires des chevaux ont été présentés. En ce sens, la thèse semble avoir été menée en conformité avec les principes éthiques.

Cette information a été enregistrée sous le N°1637 en date du 15/09/16.

Restant à votre disposition pour tous renseignements complémentaires, je vous prie d'agréer, Monsieur, l'expression de nos meilleures salutations.

Pour le Président :

Alain Dorier

1, avenue Bourgelat - F-69280 Marcy l'Etoile
Tél : +33 (0)4 78 87 25 25
www.vetagro-sup.fr

Membre de Clermont Université
CLERMONT UNIVERSITÉ

membre de UNIVERSITÉ DE LYON

Annexe 2 : Consentement éclairé des propriétaires

VetAgro Sup
Campus Vétérinaire
de Lyon

Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt
Institut d'enseignement supérieur et de recherche
en alimentation, santé animale, sciences agronomiques et de l'environnement

CONSENTEMENT ECLAIRE

Titre de l'étude : Impact de l'application de micro-courants sur la sensibilité dorsale chez le cheval : évaluation par algométrie

A Marcy l'étoile, le 02/02/14,

Je soussigné(e) ....., propriétaire du cheval .....reconnaît avoir été renseigné sur les conditions de réalisation du protocole de l'étude comptant pour la thèse de Médecine Vétérinaire de Mme Sandy NUELLAS de Vétagrosup, en particulier sur les effets potentiels des micro-courants.

J'accepte de mettre à disposition mon cheval .....pour la durée nécessaire à la réalisation de cette étude.

Signature

1, avenue Bourgelat - F-69280 Marcy l'Etoile
Tél : +33 (0)4 78 87 25 25
www.vetagro-sup.fr

Membre de Clermont Université
CLERMONT UNIVERSITÉ
membre de UNIVERSITÉ DE LYON

Annexe 3: Fiche renseignement propriétaire/cheval et examen clinique général

EXAMEN CLINIQUE DE

Coordonnées :

Date	
Etat général	
Age ,race	
Type activité et niveau	
Niveau cavalier	
Nombre jour travail/semaine	
Selle/amortisseur...	
Mors ,enrennement	
Affections chroniques connues	
Antécédents pathologiques	
Suivi dentiste/osteo ?	
FC/FR	
Aplombs	
comportement	

Annexe 4: Fiche examen palpatoire et ostéopathique

EXAMEN PALPATOIRE / TESTS ARTICULAIRES :

Tête/encolure :

Avant main :

Pont vertébral :

Bassin / mb pelvien :

Examen en mouvement :

Annexe 5 : Fiche de suivi des mesures algométriques et électrophysiologiques

TEST ALGOMETRIQUE DE

Points impairs sommet processus épineux :

T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13
T14	**T15**	**T16**	**T17**	**T18**					

L1	L2	L3	L4	L5	L6
S1	**S5**	**Cd1**			

Points pairs symétriques sur les masses musculaires para-lombaires :

A droite :

T4-5	T5-6	T6-7	T7-8	T8-9	T9-10	T10-11	T11-12	T12-13	T13-14
T14-15	**T15-16**	**T16-17**	**T17-18**	**T18-L1**	**L1-2**	**L2-3**	**L3-4**	**L4-5**	**L5-6**
L6-S1	**S5-Cd1**								

A gauche :

T4-5	T5-6	T6-7	T7-8	T8-9	T9-10	T10-11	T11-12	T12-13	T13-14
T14-15	**T15-16**	**T16-17**	**T17-18**	**T18-L1**	**L1-2**	**L2-3**	**L3-4**	**L4-5**	**L5-6**
L6-S1	**S5-Cd1**								

Mesures électrophysiologiques :

	Droite	Gauche
Avant		
Après		

Annexe 6 : Questionnaire évaluation cavalier 1

QUESTIONNAIRE EVALUATION CAVALIER

CHEVAL/CAVALIER : TEST :

CONFORT GENERAL DU CHEVAL AU TRAVAIL

Noter sur l'échelle où se situe votre cheval de 0 à 5 :

0 1 2 3 4 5

0 = Aucuns problèmes

1= légère gêne (raideurs) dans certaines allures ou exercices s'améliorant à l'échauffement

2= légère gêne (raideurs) dans certaines allures ou exercices ne s'améliorant pas à l'échauffement

3= gêne nette dans certaines allures ou exercices persistant à chaud

4 = souvent douloureux ou sensible, difficultés de travail

5= impossibilité de travailler

EVALUATION GENERALE DU CHEVAL APRES LE TEST

Noter sur l'échelle où se situe votre cheval de -3 à 4 :

-3 -2 -1 0 1 2 3 4

-3 = détérioration forte

-2 = détérioration moyenne

-1 = détérioration légère

0 = aucune amélioration

1 = amélioration légère

2 = amélioration moyenne

3 = amélioration nette

4 = amélioration totale

Annexe 7: Questionnaire évaluation cavalier 2

QUESTIONNAIRE EVALUATION CAVALIER

CHEVAL/CAVALIER : TEST :

1- réticence pansage du dos ? ❐oui ❐ non

2- défense au sanglage ? ❐ oui ❐non

3-défense au montoir ? ❐oui ❐non

4- défense lors de la prise de postérieur pour le curage ? ❐oui ❐non

lors du ferrage ou parage? ❐oui ❐non

5-musculature du dos modifiée ? ❐oui ❐non

Si oui dans quel sens ?

6- difficulté de se porter en avant ? ❐ oui ❐non

7-raideur au niveau du dos lors de la monte ? ❐oui ❐non

Si oui à quel moment, lors de quel exercice ?

8-allures irrégulières ? ❐ oui ❐non

9-difficulté à avoir de l'amplitude ? ❐oui ❐non

10-difficulté à s'étendre ? ❐oui ❐non

11-gêne lors d'une demande de rassembler ? ❐ oui ❐non

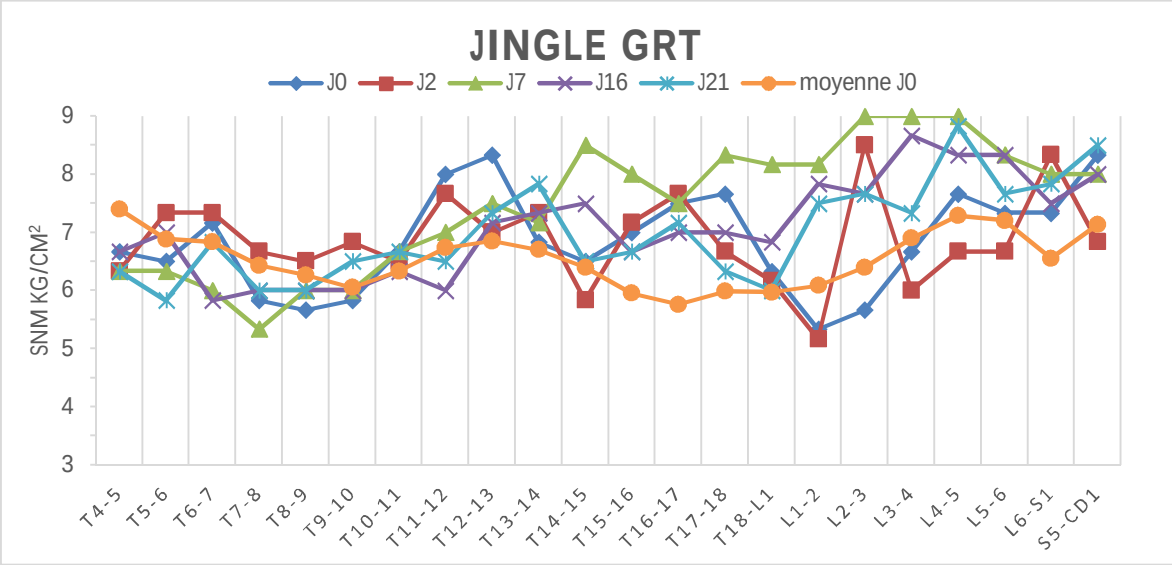
De mise en équilibre ? ❐oui ❐non

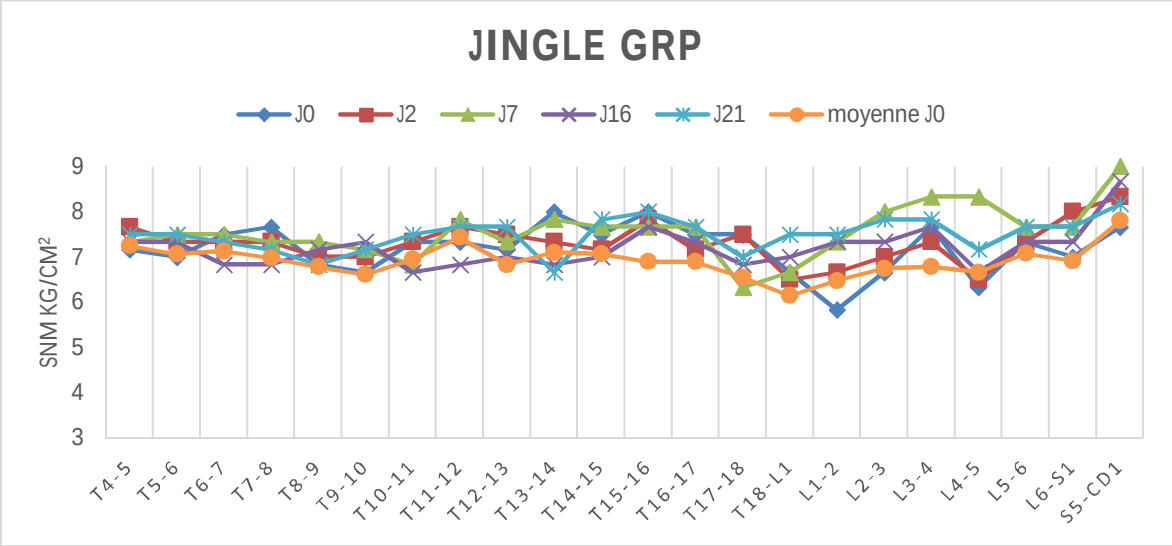
12-difficulté à s'incurver ? ❐oui ❐non Si oui à quelle main ?

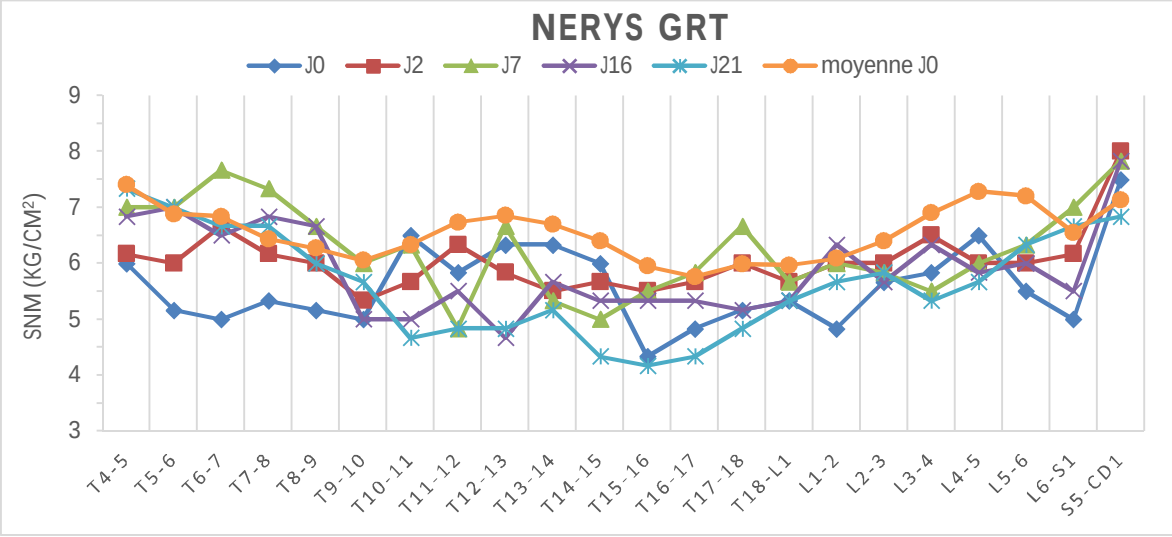
13-à l'obstacle :

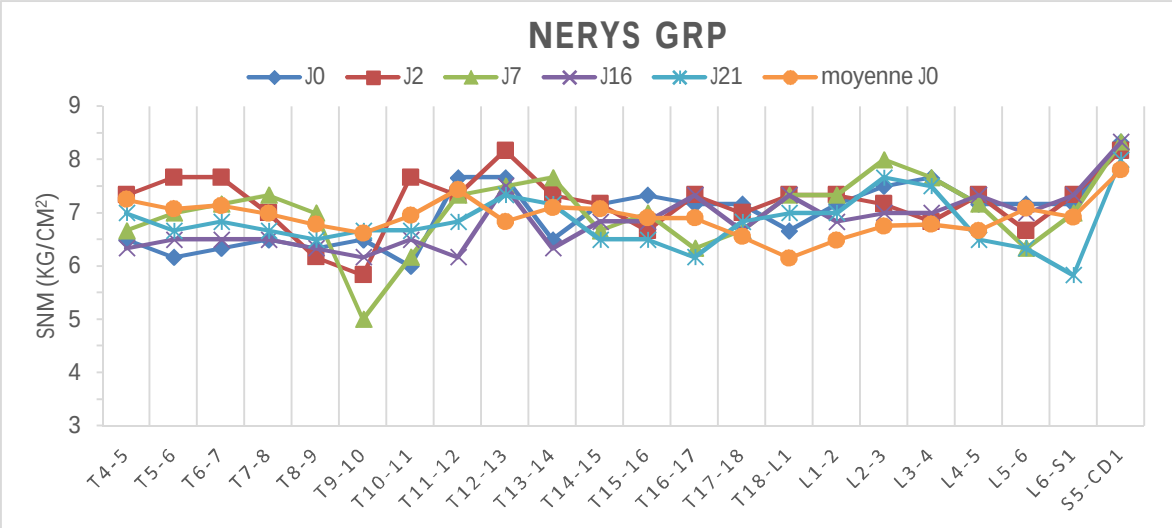
- Abord agité ? ❐oui ❐non
- Touche souvent l'obstacle des postérieurs ? ❐oui ❐non
- Rotation/déviation lors du planer ? ❐oui ❐non
  Si oui de quel coté ?
- difficulté à « passer son dos » ? ❐oui ❐ non

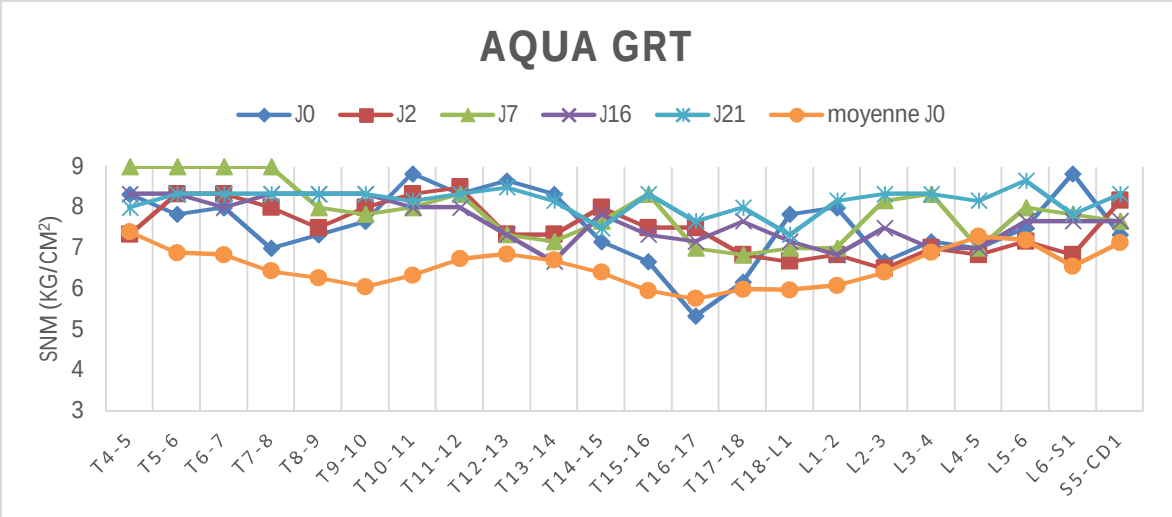
Annexe 8 : Evolution des SNM pour chaque cheval le long du pont vertébral dans le GrT ou le GrP

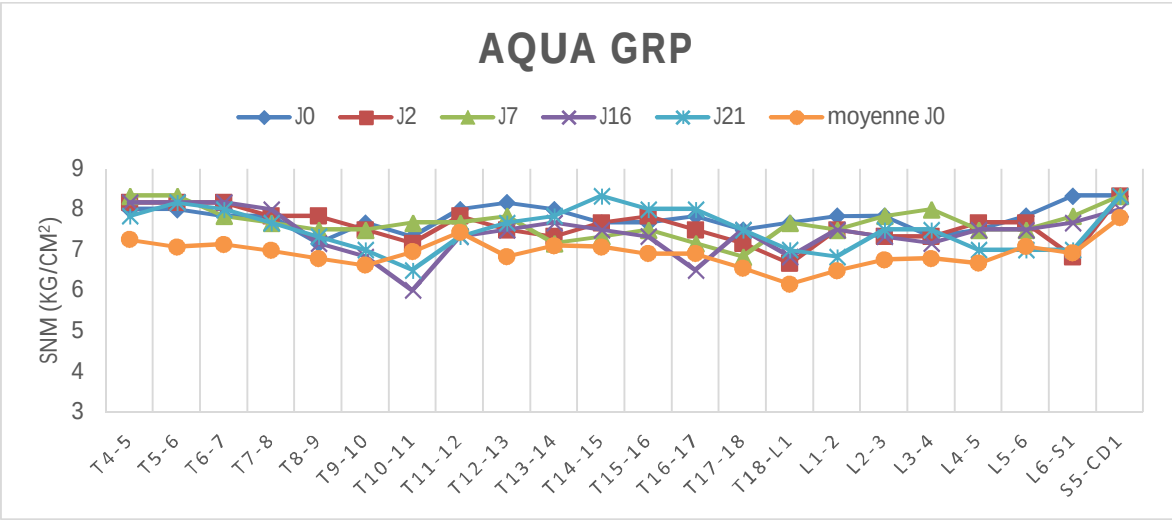


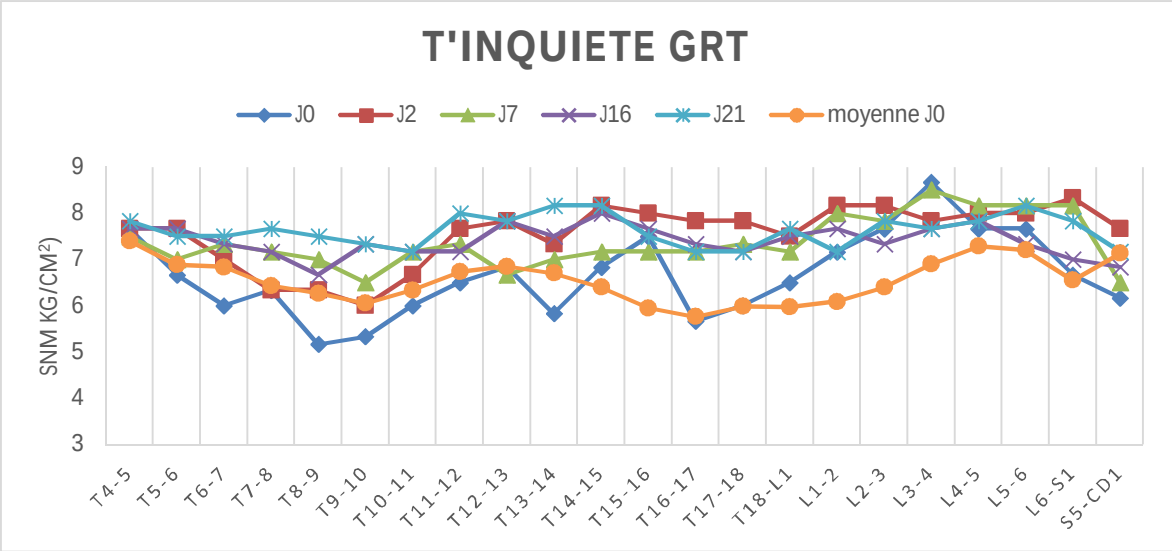


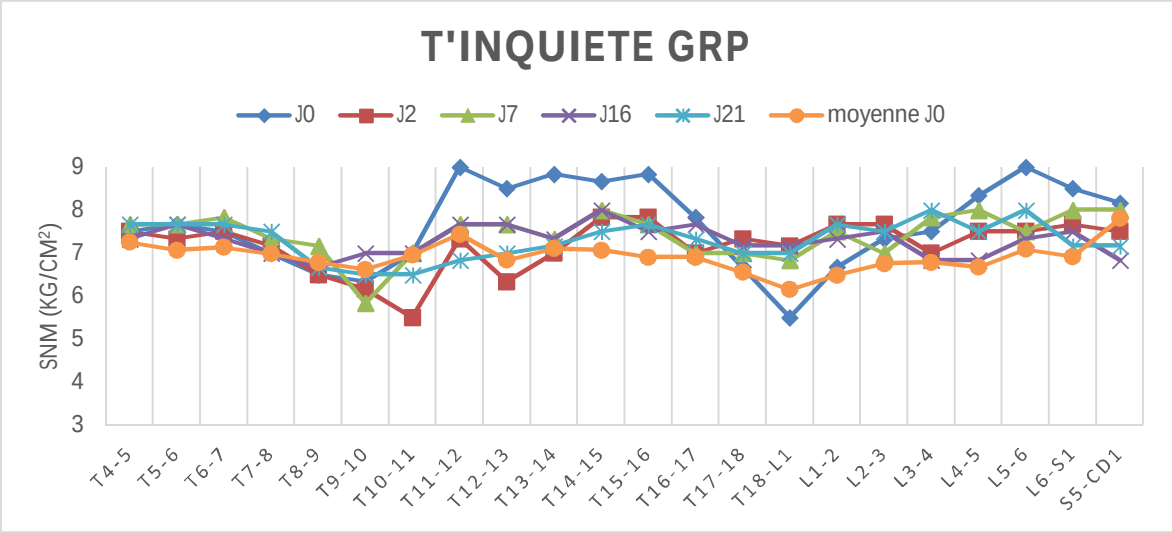


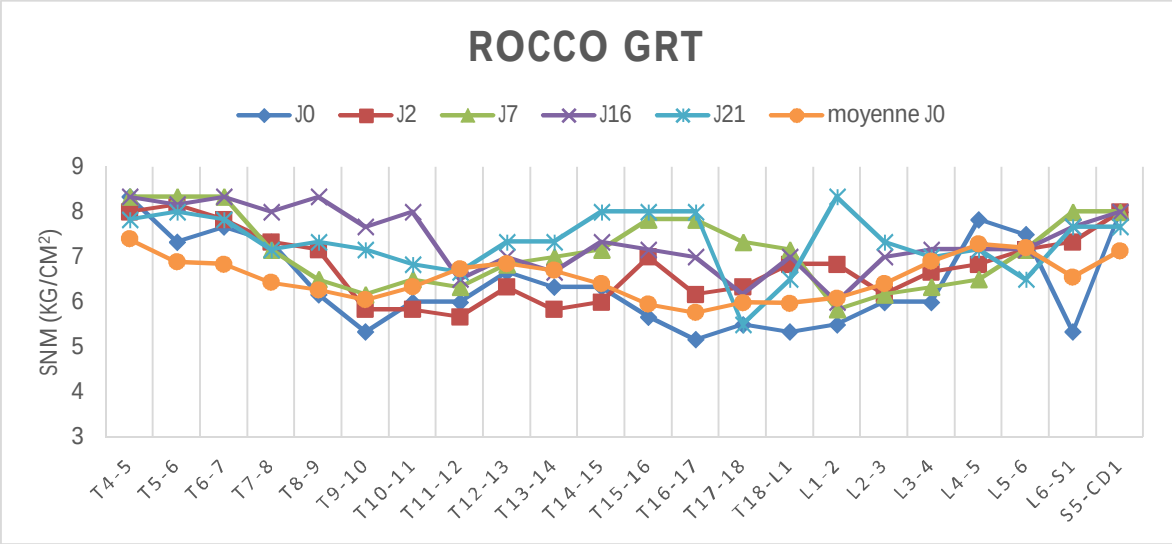

NERYS GRP
J0
J2
J7
J16
J21
moyenne J0
SNM (KG/CM²)
9
8
7
6
5
4
3
T4-5
T5-6
T6-7
T7-8
T8-9
T9-10
T10-11
T11-12
T12-13
T13-14
T14-15
T15-16
T16-17
T17-18
T18-L1
L1-2
L2-3
L3-4
L4-5
L5-6
L6-S1
S5-CD1

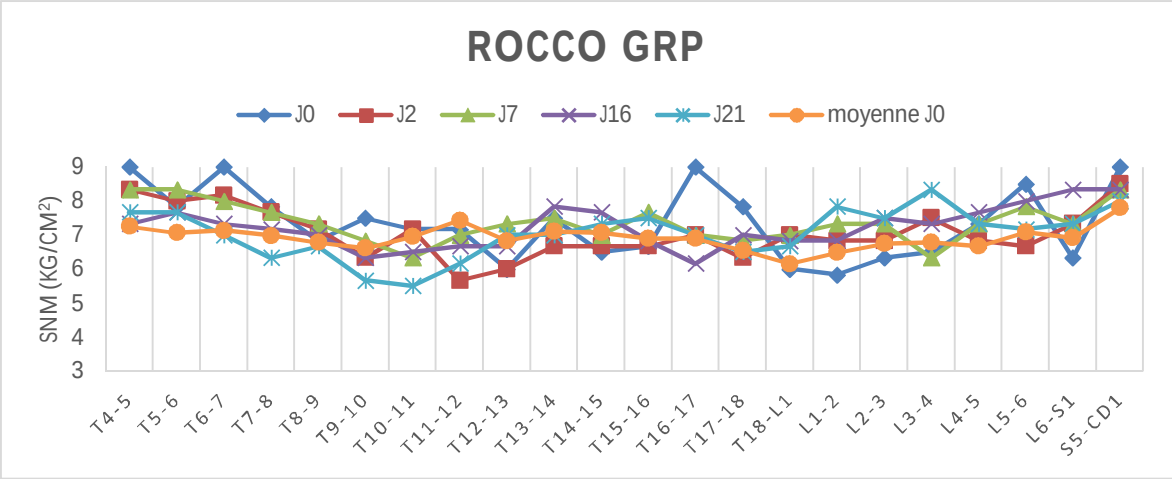

AQUA GRT
J0
J2
J7
J16
J21
moyenne J0
SNM (KG/CM²)
9
8
7
6
5
4
3
T4-5
T5-6
T6-7
T7-8
T8-9
T9-10
T10-11
T11-12
T12-13
T13-14
T14-15
T15-16
T16-17
T17-18
T18-L1
L1-2
L2-3
L3-4
L4-5
L5-6
L6-S1
S5-CD1

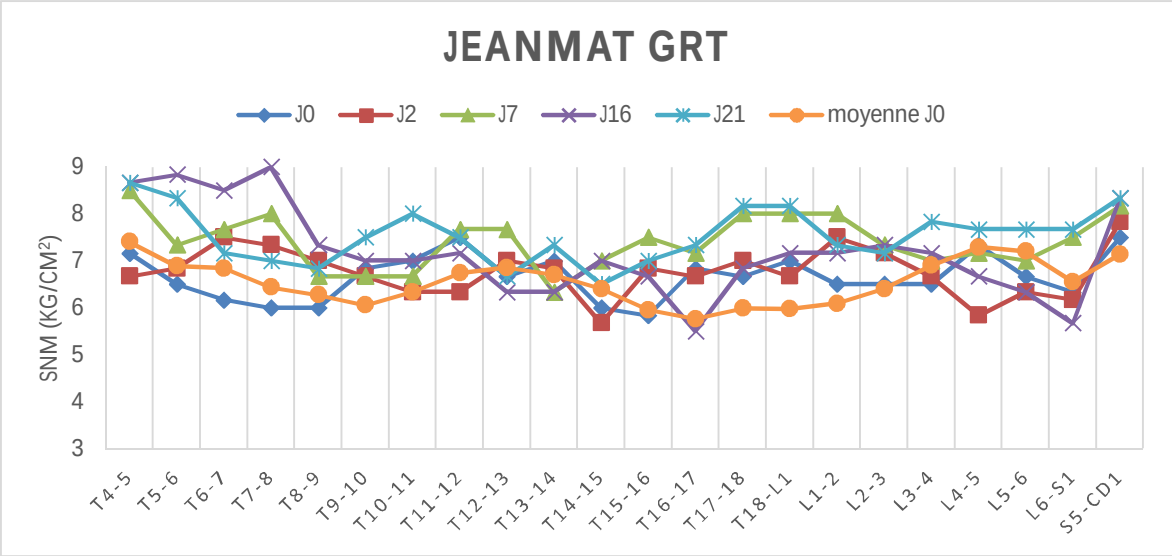

AQUA GRP
J0
J2
J7
J16
J21
moyenne J0
SNM (KG/CM²)
9
8
7
6
5
4
3
T4-5
T5-6
T6-7
T7-8
T8-9
T9-10
T10-11
T11-12
T12-13
T13-14
T14-15
T15-16
T16-17
T17-18
T18-L1
L1-2
L2-3
L3-4
L4-5
L5-6
L6-S1
S5-CD1

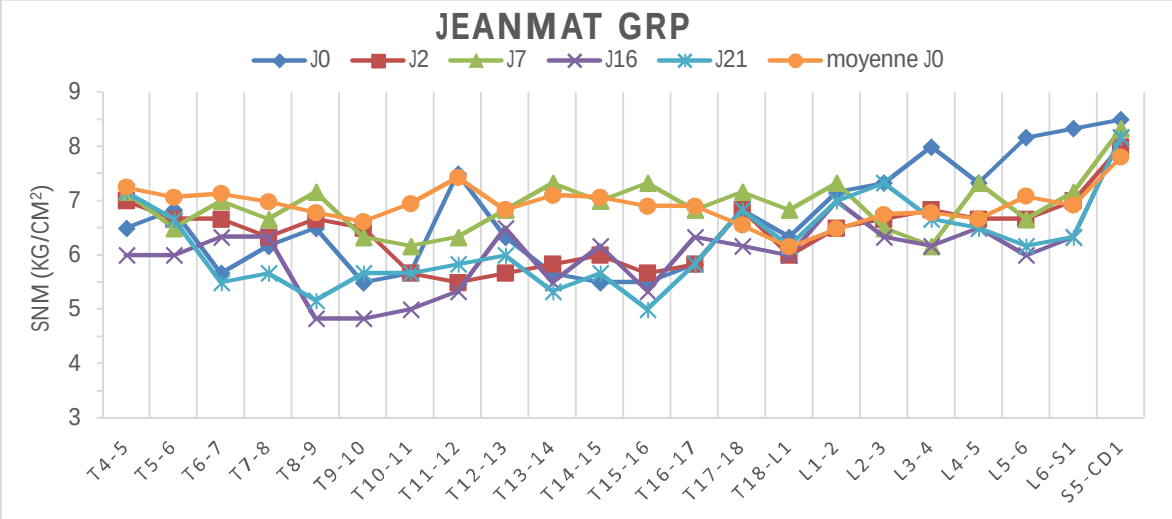

T'INQUIETE GRT
J0
J2
J7
J16
J21
moyenne J0
SNM KG/CM²
9
8
7
6
5
4
3
T4-5
T5-6
T6-7
T7-8
T8-9
T9-10
T10-11
T11-12
T12-13
T13-14
T14-15
T15-16
T16-17
T17-18
T18-L1
L1-2
L2-3
L3-4
L4-5
L5-6
L6-S1
S5-CD1

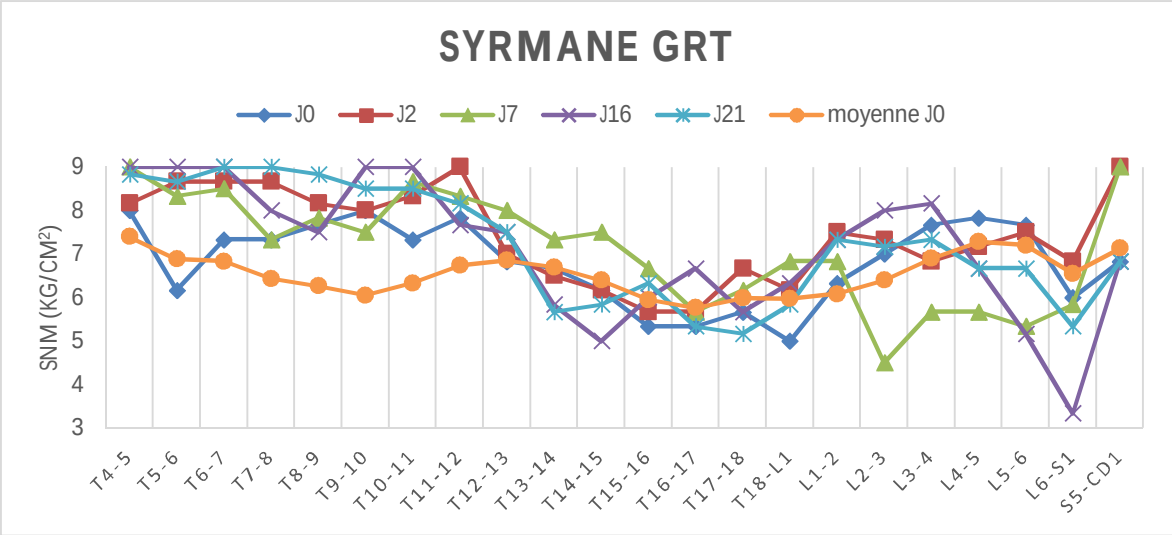

T'INQUIETE GRP
J0
J2
J7
J16
J21
moyenne J0
SNM (KG/CM²)
9
8
7
6
5
4
3
T4-5
T5-6
T6-7
T7-8
T8-9
T9-10
T10-11
T11-12
T12-13
T13-14
T14-15
T15-16
T16-17
T17-18
T18-L1
L1-2
L2-3
L3-4
L4-5
L5-6
L6-S1
S5-CD1

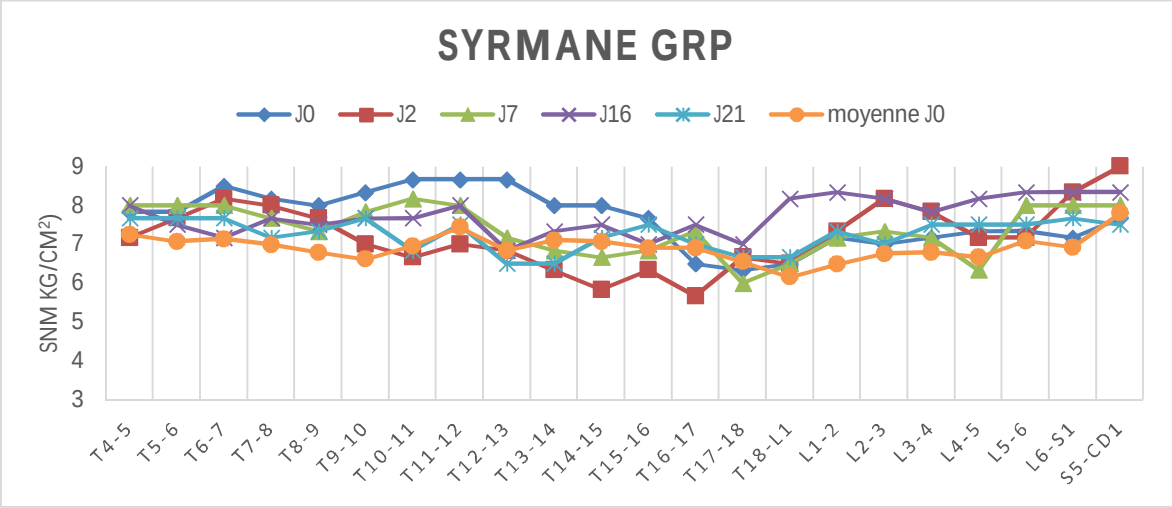

ROCCO GRT
J0
J2
J7
J16
J21
moyenne J0
SNM (KG/CM²)
9
8
7
6
5
4
3
T4-5
T5-6
T6-7
T7-8
T8-9
T9-10
T10-11
T11-12
T12-13
T13-14
T14-15
T15-16
T16-17
T17-18
T18-L1
L1-2
L2-3
L3-4
L4-5
L5-6
L6-S1
S5-CD1

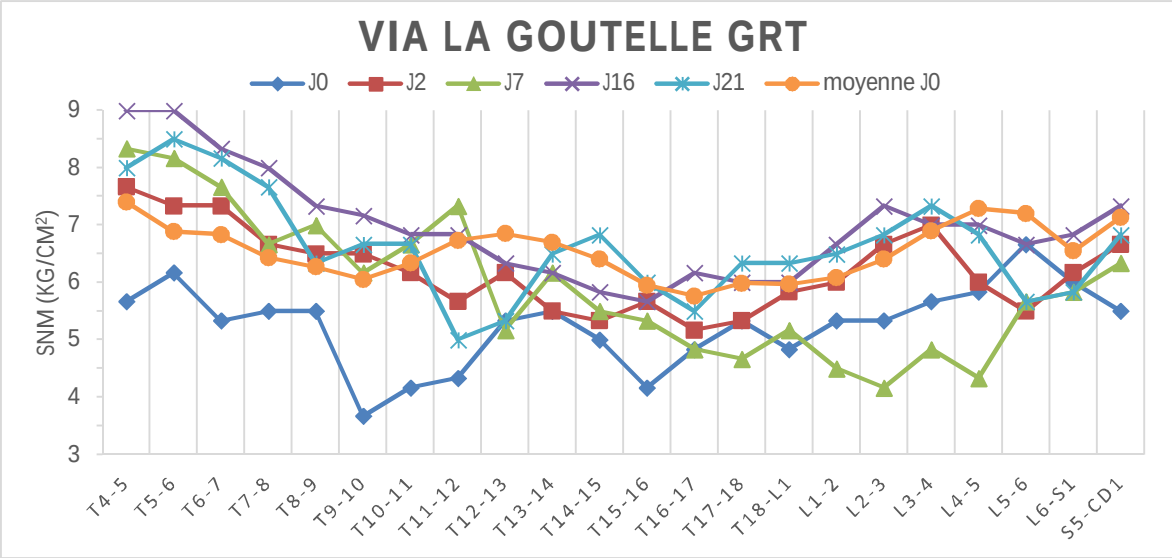

ROCCO GRP
J0
J2
J7
J16
J21
moyenne J0
SNM (KG/CM²)
9
8
7
6
5
4
3
T4-5
T5-6
T6-7
T7-8
T8-9
T9-10
T10-11
T11-12
T12-13
T13-14
T14-15
T15-16
T16-17
T17-18
T18-L1
L1-2
L2-3
L3-4
L4-5
L5-6
L6-S1
S5-CD1

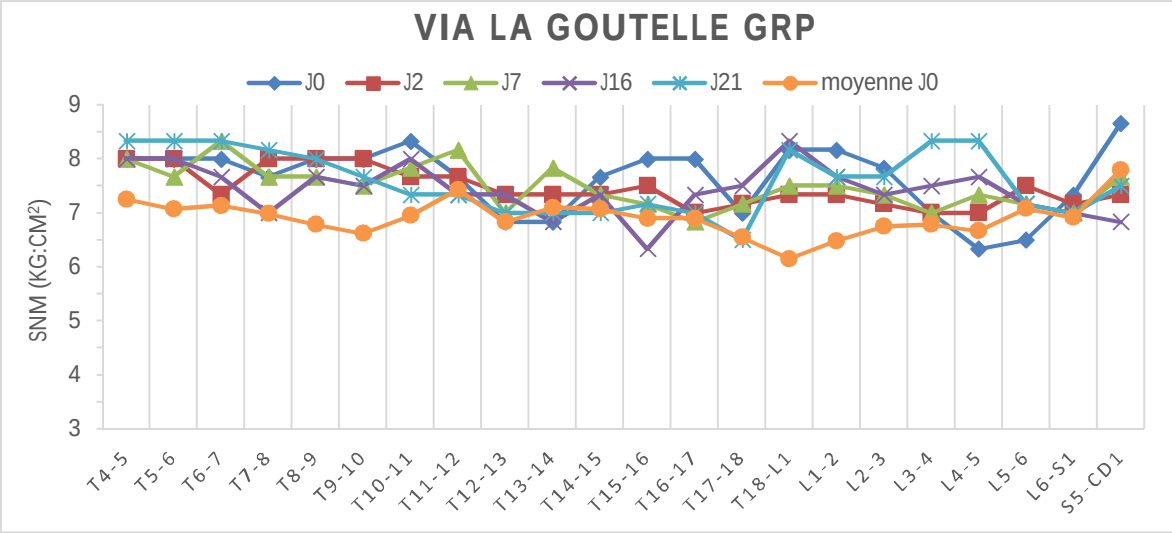

JEANMAT GRT
J0
J2
J7
J16
J21
moyenne J0
SNM (KG/CM²)
9
8
7
6
5
4
3
T4-5
T5-6
T6-7
T7-8
T8-9
T9-10
T10-11
T11-12
T12-13
T13-14
T14-15
T15-16
T16-17
T17-18
T18-L1
L1-2
L2-3
L3-4
L4-5
L5-6
L6-S1
S5-CD1

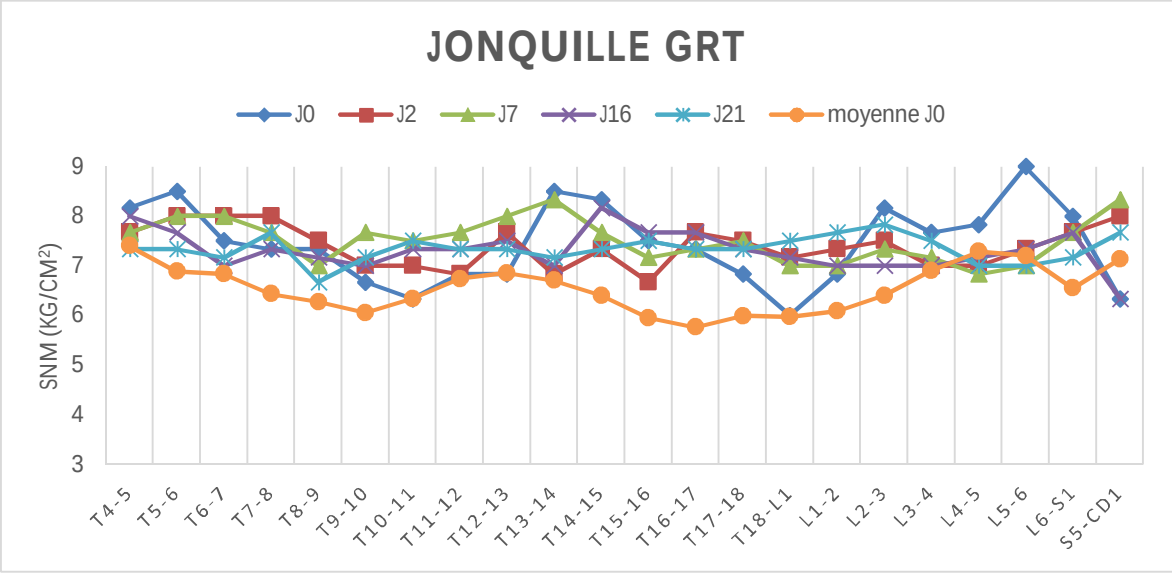

JEANMAT GRP
J0
J2
J7
J16
J21
moyenne J0
SNM (KG/CM²)
9
8
7
6
5
4
3
T4-5
T5-6
T6-7
T7-8
T8-9
T9-10
T10-11
T11-12
T12-13
T13-14
T14-15
T15-16
T16-17
T17-18
T18-L1
L1-2
L2-3
L3-4
L4-5
L5-6
L6-S1
S5-CD1

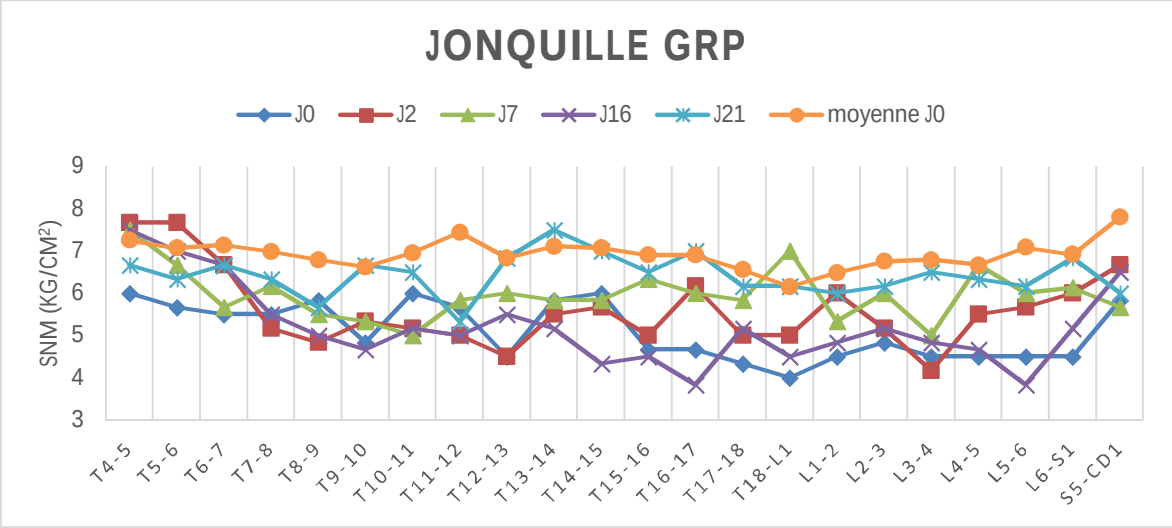

SYRMANE GRT
J0
J2
J7
J16
J21
moyenne J0
SNM (KG/CM²)
9
8
7
6
5
4
3
T4-5
T5-6
T6-7
T7-8
T8-9
T9-10
T10-11
T11-12
T12-13
T13-14
T14-15
T15-16
T16-17
T17-18
T18-L1
L1-2
L2-3
L3-4
L4-5
L5-6
L6-S1
S5-CD1

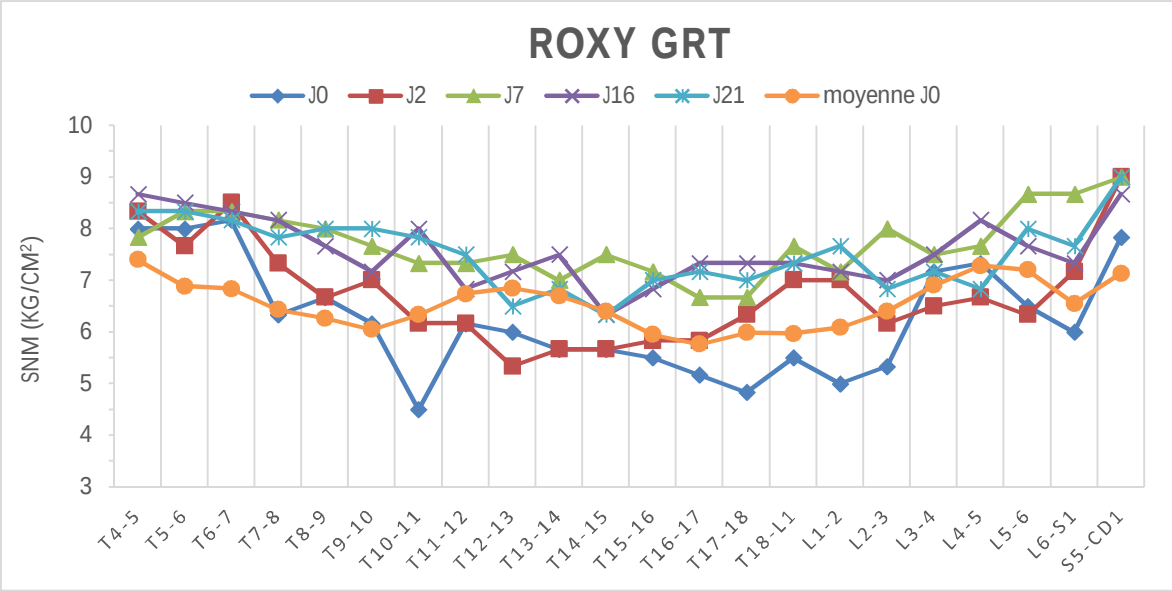

SYRMANE GRP
J0
J2
J7
J16
J21
moyenne J0
SNM KG/CM²)
9
8
7
6
5
4
3
T4-5
T5-6
T6-7
T7-8
T8-9
T9-10
T10-11
T11-12
T12-13
T13-14
T14-15
T15-16
T16-17
T17-18
T18-L1
L1-2
L2-3
L3-4
L4-5
L5-6
L6-S1
S5-CD1

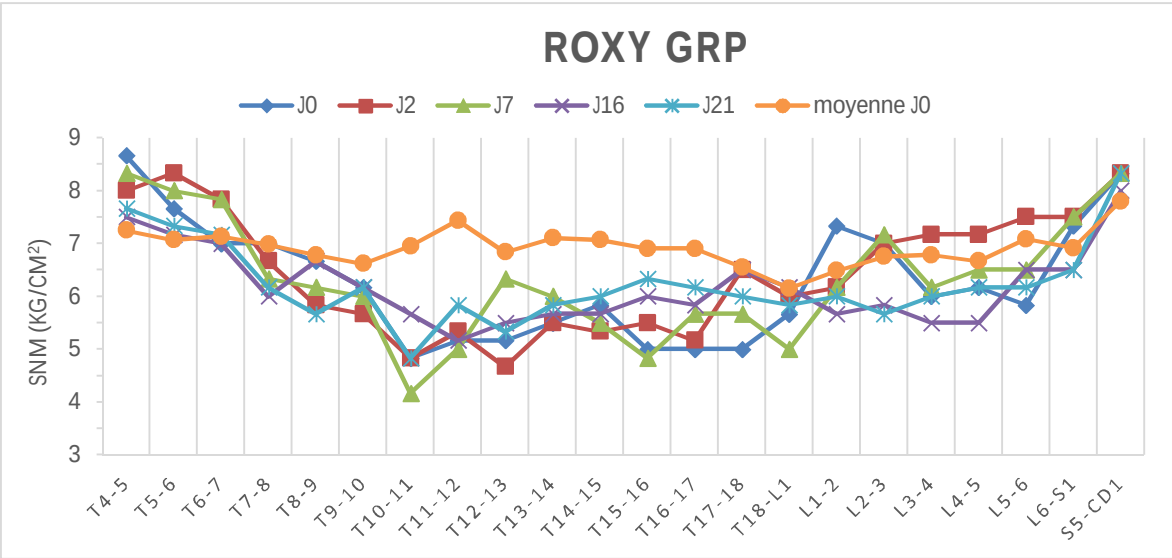

VIA LA GOUTELLE GRT
J0
J2
J7
J16
J21
moyenne J0
SNM (KG/CM²)
9
8
7
6
5
4
3
T4-5
T5-6
T6-7
T7-8
T8-9
T9-10
T10-11
T11-12
T12-13
T13-14
T14-15
T15-16
T16-17
T17-18
T18-L1
L1-2
L2-3
L3-4
L4-5
L5-6
L6-S1
S5-CD1


VIA LA GOUTELLE GRP
J0
J2
J7
J16
J21
moyenne J0
SNM (KG:CM²)
9
8
7
6
5
4
3
T4-5
T5-6
T6-7
T7-8
T8-9
T9-10
T10-11
T11-12
T12-13
T13-14
T14-15
T15-16
T16-17
T17-18
T18-L1
L1-2
L2-3
L3-4
L4-5
L5-6
L6-S1
S5-CD1


JONQUILLE GRT
J0
J2
J7
J16
J21
moyenne J0
SNM (KG/CM²)
9
8
7
6
5
4
3
T4-5
T5-6
T6-7
T7-8
T8-9
T9-10
T10-11
T11-12
T12-13
T13-14
T14-15
T15-16
T16-17
T17-18
T18-L1
L1-2
L2-3
L3-4
L4-5
L5-6
L6-S1
S5-CD1


JONQUILLE GRP
J0
J2
J7
J16
J21
moyenne J0
SNM (KG/CM²)
9
8
7
6
5
4
3
T4-5
T5-6
T6-7
T7-8
T8-9
T9-10
T10-11
T11-12
T12-13
T13-14
T14-15
T15-16
T16-17
T17-18
T18-L1
L1-2
L2-3
L3-4
L4-5
L5-6
L6-S1
S5-CD1


ROXY GRT
J0
J2
J7
J16
J21
moyenne J0
SNM (KG/CM²)
10
9
8
7
6
5
4
3
T4-5
T5-6
T6-7
T7-8
T8-9
T9-10
T10-11
T11-12
T12-13
T13-14
T14-15
T15-16
T16-17
T17-18
T18-L1
L1-2
L2-3
L3-4
L4-5
L5-6
L6-S1
S5-CD1


ROXY GRP
J0
J2
J7
J16
J21
moyenne J0
SNM (KG/CM²)
9
8
7
6
5
4
3
T4-5
T5-6
T6-7
T7-8
T8-9
T9-10
T10-11
T11-12
T12-13
T13-14
T14-15
T15-16
T16-17
T17-18
T18-L1
L1-2
L2-3
L3-4
L4-5
L5-6
L6-S1
S5-CD1

Annexe 9 : Valeurs chiffrées des SRM pour chaque cheval et chaque test

Traitement	J0	J2	J7	J16	J21
Jingle	2	2,5	4,5	3	3
Nerys	10,5	8,5	5	3,5	2
Aqua	12,5	5,5	6,75	6	4,25
T'inquiete	10	12,5	8,5	9,75	9,5
Rocco	13	11,25	8	10,75	7,5
Jeanmat	12,75	7	10,75	12,25	11
Syrmane	9,75	9	3,25	6,5	4,75
Via	10	13,5	9,25	11	10,5
Jonquille	12,5	10,75	8,5	11	7
Roxy	7,75	7,25	5,75	7,5	5,75

Placebo	J0	J2	J7	J16	J21
Jingle	2,75	5,5	5	2,5	3,75
Nerys	8,25	11,5	9,5	9	11,5
Aqua	9,25	10,5	6,25	10	11,75
T'inquiete	10,5	9,5	6,25	8,25	4
Rocco	12,25	8,25	7,75	8	6,25
Jeanmat	14,5	9,5	4,5	2,5	3,5
Syrmane	7,75	7,5	5	4	4
Via	**8,25**	8,5	9,25	9,25	8,5
Jonquille	12	12,75	8,25	11	10
Roxy	7,5	7,5	3	10,25	5,75

Annexe 10 : Valeurs des moyennes des SNM pour tous les chevaux des deux groupes

GrT	J0	J2	J7	J16	J21
T4_5	7,4 +/- 0,9	7,4 +/- 0,7	7,9 +/- 1,1	8,1 +/- 0,8	7,8 +/- 0,8
T5_6	6,8 +/- 1,0	7,6 +/- 0,8	7,7 +/- 0,8	8,1 +/- 0,7	7,7 +/- 0,9
T6_7	6,8 +/- 1,2	7,7 +/- 0,6	7,8 +/- 0,8	7,7 +/- 1,0	7,6 +/- 0,8
T7_8	6,4 +/- 0,7	7,2 +/- 0,8	7,3 +/- 1,9	7,7 +/- 0,9	7,5 +/- 0,7
T8_9	6,3 +/- 0,9	6,9 +/- 0,6	7 +/- 0,6	7,3 +/- 0,7	7,2 +/- 0,8
T9_10	6 +/- 1,3	6,7 +/- 0,8	6,8 +/- 0,7	7,1 +/- 1,1	7,3 +/- 0,9
T10_11	6,3 +/- 1,4	6,7 +/- 0,9	7,1 +/- 0,7	7,2 +/- 1,2	7,2 +/- 1,1
T11_12	6,7 +/- 1,2	6,9 +/- 1,0	7,2 +/- 0,9	6,9 +/- 0,9	6,9 +/- 0,9
T12_13	6,8 +/- 1,0	6,7 +/- 0,8	7,1 +/- 0,8	6,8 +/- 0,9	6,9 +/- 0,9
T13_14	6,7 +/- 1,0	6,4 +/- 0,8	6,8 +/- 0,8	6,6 +/- 0,7	7,1 +/- 1,0
T14_15	6,4 +/- 0,9	6,4 +/- 1,0	7,1 +/- 1,0	6,8 +/- 1,1	6,7 +/- 1,2
T15_16	5,9 +/- 1,2	6,5 +/- 0,9	7,1 +/- 0,9	6,7 +/- 0,8	6,8 +/- 1,2
T16_17	5,7 +/- 1,0	6,5 +/- 0,9	6,7 +/- 0,9	6,7 +/- 0,8	6,7 +/- 1,0
T17_18	5,9 +/- 0,8	6,6 +/- 0,7	6,9 +/- 1,0	6,6 +/- 0,7	6,6 +/- 1,0
T18_L1	5,9 +/- 0,9	6,5 +/- 0,5	6,9 +/- 0,9	6,7 +/- 0,7	6,8 +/- 0,8
L1_2	6,1 +/- 1,0	6,8 +/- 0,8	6,8 +/- 1,0	7 +/- 0,7	7,3 +/- 0,7
L2_3	6,4 +/- 1,0	7 +/- 0,8	6,8 +/- 1,6	7,1 +/- 0,7	7,3 +/- 0,7
L3_4	6,9 +/- 0,9	6,8 +/- 0,6	6,9 +/- 1,3	7,3 +/- 0,9	7,3 +/- 0,8
L4_5	7,3 +/- 0,6	6,7 +/- 0,6	6,3 +/- 0,6	7,2 +/- 0,8	7,3 +/- 0,7
L5_6	7,2 +/- 0,9	6,8 +/- 0,7	7,1 +/- 1,1	6,9 +/- 0,9	7,2 +/- 0,9
L6_S1	6,5 +/- 1,2	7,1 +/- 1,5	7,4 +/- 0,9	6,6 +/- 1,3	7,1 +/- 1,3
S5_Cd1	7,1 +/- 0,9	7,9 +/- 0,7	7,8 +/- 0,9	7,6 +/- 0,6	7,7 +/- 0,9
GrP	J0	J2	J7	J16	J21
T4_5	7,2 +/- 0,9	7,6 +/- 0,4	7,6 +/- 0,5	7,3 +/- 0,7	7,4 +/- 0,5
T5_6	7,1 +/- 0,9	7,6 +/- 0,4	7,4 +/- 0,7	7,3 +/- 0,7	7,3 +/- 0,7
T6_7	7,2 +/- 1,2	7,4 +/- 0,6	7,3 +/- 0,9	7,1 +/- 0,9	7,1 +/- 0,8
T7_8	6,9 +/- 1,0	6,9 +/- 1,0	7,1 +/- 0,6	6,7 +/- 0,6	6,9 +/- 0,7
T8_9	6,7 +/- 0,7	6,6 +/- 1,1	6,9 +/- 0,8	6,4 +/- 0,7	6,5 +/- 0,8
T9_10	6,6 +/- 1,2	6,5 +/- 0,8	6,4 +/- 1,0	6,3 +/- 1,0	6,7 +/- 0,7
T10_11	6,9 +/- 1,0	6,5 +/- 1,1	6,6 +/- 1,1	6,3 +/- 1,1	6,5 +/- 0,6
T11_12	7,4 +/- 1,0	6,6 +/- 1,2	7,1 +/- 0,8	6,5 +/- 0,8	6,6 +/- 0,8
T12_13	6,8 +/- 1,5	6,4 +/- 1,2	7 +/- 0,6	6,8 +/- 0,7	6,9 +/- 0,5
T13_14	7,1 +/- 1,1	6,6 +/- 0,7	7,1 +/- 0,7	6,6 +/- 1,0	6,9 +/- 0,7
T14_15	7 +/- 1,0	6,7 +/- 0,8	6,9 +/- 0,7	6,6 +/- 1,3	7,1 +/- 0,7
T15_16	6,9 +/- 1,4	6,6 +/- 1,1	7,1 +/- 0,5	6,3 +/- 1,2	7 +/- 0,9
T16_17	6,9 +/- 1,4	6,6 +/- 0,6	6,8 +/- 0,5	6,3 +/- 1,4	7 +/- 0,6
T17_18	6,5 +/- 1,2	6,6 +/- 0,9	6,5 +/- 0,5	6,6 +/- 0,8	6,7 +/- 0,4
T18_L1	6,1 +/- 1,3	6,4 +/- 0,8	7 +/- 0,3	6,6 +/- 1,3	6,8 +/- 0,6
L1_2	6,5 +/- 1,3	6,9 +/- 0,6	6,9 +/- 0,7	6,8 +/- 1,1	7 +/- 0,6
L2_3	6,7 +/- 1,1	6,8 +/- 0,9	7,1 +/- 0,7	6,8 +/- 1,0	7,2 +/- 0,6
L3_4	6,7 +/- 1,2	6,6 +/- 1,3	6,8 +/- 1,1	6,7 +/- 1,0	7,4 +/- 0,7
L4_5	6,6 +/- 1,3	6,7 +/- 0,7	7,2 +/- 0,6	6,7 +/- 1,2	7 +/- 0,6
L5_6	7 +/- 1,5	6,8 +/- 0,7	7 +/- 0,7	6,6 +/- 1,6	6,9 +/- 0,6
L6_S1	6,9 +/- 1,4	7,1 +/- 0,7	7,2 +/- 0,7	7 +/- 1,1	6,9 +/- 0,5
S5_Cd1	7,8 +/- 1,1	7,8 +/- 0,8	7,7 +/- 1,1	7,6 +/- 0,8	7,4 +/- 0,8

NUELLAS Sandy

IMPACT DE L'APPLICATION DE MICRO-COURANTS SUR LA SENSIBILITE DORSALE CHEZ LE CHEVAL : EVALUATION PAR ALGOMETRIE

Thèse d'Etat de Doctorat Vétérinaire : Lyon, le 7 octobre 2016

L'électrostimulation est une technique fondamentale de la physiothérapie, discipline en plein développement dans le domaine vétérinaire. L'objectif de ce travail est d'évaluer l'impact de l'application des micro-courants (MC) sur la sensibilité dorsale du cheval.

Dans la première partie, les bases fondamentales de l'électrostimulation sont rappelées puis les aspects spécifiques des micro-courants exposés. La seconde partie est dédiée à l'étude expérimentale suivant un schéma classique : les animaux, le matériel et la méthode, les résultats et leur discussion.

Dix chevaux de cavaliers de sport et de loisir ont reçu un traitement avec des micro-courants et, dans un autre temps, des séances placebo (appareil éteint). Cinq séances consécutives de trente minutes sur cinq jours ont été réalisées, les électrodes étant placées de part et d'autre de la zone la plus sensible. Des mesures algométriques (68 points situés le long du pont vertébral entre T4 et S5) et électrophysiologiques sont réalisées à J0, J2, J7, J16 et J21 + jours.

Au terme de cette étude on peut observer : 1) que les chevaux ont très bien toléré le protocole ; 2) un effet significatif du temps et du traitement sur la sensibilité dorsale (SMN) pour 8 chevaux sur 10 ; 3) une élévation significative du Seuil de Réponse Musculaire juste après la séance pour les deux groupes ; 4) Une amélioration légère à modérée du confort et de la locomotion du cheval après un traitement aux micro-courants d'après les cavaliers ; 5) Un effet placebo se traduisant sur le SRM et probablement en rapport avec le contact prolongé des électrodes.

Ce travail mérite d'être complété par des études sur un plus grand effectif et des chevaux présentant des dorsalgies diagnostiquées objectivement.

MOTS CLES :

- Cheval
- Électrothérapie
- Algométrie
- Dorsalgie
- Muscles

JURY :

Président :	Madame le Professeur Elvire SERVIEN
1er Assesseur :	Monsieur le Docteur Serge SAWAYA
2ème Assesseur :	Monsieur le Professeur Jean-Luc CADORE

DATE DE SOUTENANCE : vendredi 7 octobre 2016

ADRESSE DE L'AUTEUR : 7 rue Joseph Rohr, 57410 GROS-REDERCHING