

Année 2025

Évolution de la mobilité dorsale au cours d'un entraînement en piscine chez des chevaux souffrant de dorsalgies et cervicalgies

THÈSE

pour obtenir le diplôme d'État de

DOCTEUR VÉTÉRAIRE

présentée et soutenue publiquement devant

la Faculté de Médecine de Créteil (UPEC)

le 31 octobre 2025

par

Baptiste Jacques Rolland PECRESSE

sous la direction de

Henry CHATEAU

JURY

Président du jury :	M. Fabrice AUDIGIÉ	Professeur à l'EnvA
Directeur de thèse :	M. Henry CHATEAU	Professeur à l'EnvA
Examinatrice :	Mme Virginie COUDRY	Ingénieure de recherche (DMV) à l'EnvA
Examinatrice :	Mme Sandrine JACQUET	Ingénieure de recherche (DMV) à l'EnvA
Membre invitée :	Mme Claire MOIROUD	Praticienne hospitalière à l'EnvA
Membre invitée :	Mme Sandrine HANNE-POUJADE	Data Scientist chez LIM Group

Liste des enseignants intervenant dans l'encadrement des thèses de Doctorat vétérinaire



version Avril 2025

Liste des Professeurs et Maîtres de conférences titulaires de l'HDR

M	Adjou	Karim	Professeur	DPASP
M	Audigié	Fabrice	Professeur	DEPEC
M	Bailler	Sylvain	Professeur	DSBP
Mme	Benchekroun	Chita	Professeur	DEPEC
M	Biaga	Radu	Professeur	DSBP
M	Bict	Stéphane	Professeur	DEPEC
M	Boulouis	Henri-Jean	Professeur émérite	DSBP
Mme	Chahory	Sabine	Professeur	DEPEC
Mme	Chastant	Sylvie	Professeur	DPASP
M	Château	Henry	Professeur	DSBP
Mme	Chetboul	Valerie	Professeur	DEPEC
Mme	Crepeaux	Gullemette	Maître de conférences HDR	DSBP
Mme	Crevier-Denoix	Nathalie	Professeur	DSBP
M	Degueurce	Christophe	Professeur	DSBP
M	Denoix	Jean-Marie	Professeur émérite	DEPEC
M	Desquillbet	Loïc	Professeur	DSBP
Mme	Dufour	Barbara	Professeur émérite	DPASP
M	Fayolle	Pascal	Professeur émérite	DEPEC
M	Federighi	Michel	Professeur	DPASP
M	Fontbonne	Alain	Professeur	DEPEC
Mme	Gilbert	Caroline	Professeur	DSBP
Mme	Grimard-Ballif	Bénédicte	Professeur émérite	DPASP
Mme	Haddad-Hoang Xuan	Nadia	Professeur	DPASP
M	Jouvion	Gregory	Professeur	DSBP
M	Kohlhauer	Matthias	Professeur	DSBP
Mme	Le Poder	Sophie	Professeur	DSBP
Mme	Le Roux	Delphine	Professeur	DSBP
M	Manassero	Mathieu	Professeur	DEPEC
Mme	Maurey-Guénec	Christelle	Professeur	DEPEC
M	Millemann	Yves	Professeur	DPASP
M	Ponter	Andrew	Professeur	DPASP
Mme	Priymenko	Nathalie	Professeur	DEPEC
Mme	Risco-Castillo	Véronica	Professeur	DSBP
Mme	Rivière	Julie	Professeur	DPASP
Mme	Robert	Céline	Professeur	DSBP
M	Tiret	Laurent	Professeur	DSBP
M	Tissier	Renaud	Professeur	DSBP
Mme	Touzot-Jourde	Gwenola	Professeur	DEPEC
M	Verwaerde	Patrick	Professeur	DEPEC
Mme	Viateau	Véronique	Professeur	DEPEC

Liste des Maîtres de conférences et Ingénieurs de recherche DMV

M	Amé	Pascal	Maître de conférences	DPASP
Mme	Barassin	Isabelle	Maître de conférences	DPASP
Mme	Barbarino	Alix	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
M	Béguin	Jérémy	Maître de conférences	DEPEC
Mme	Bertal	Mileva	Maître de conférences associé	DEPEC
Mme	Bertoni	Léila	Maître de conférences	DEPEC
Mme	Canonne-Guibert	Morgane	Maître de conférences	DEPEC
Mme	Chevallier	Lucie	Maître de conférences	DSBP
Mme	Cochet-Falvre	Noëlle	Maître de conférences	DEPEC
Mme	Cordonnier-Lefort	Nathalie	Maître de conférences	DSBP
Mme	Coudry	Virginie	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
M	Coutant	Thomas	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
M	Crozet	Guillaume	Maître de conférences	DPASP
Mme	De Paula Reis	Aline	Maître de conférences	DPASP
M	Delsart	Maxime	Maître de conférences	DPASP
Mme	Denis	Marine	Ingénieur de recherche (DMV)	DPASP
M	Deshulliers	Pierre	Maître de conférences	DSBP
Mme	Goutchhat	Rebecca	Maître de conférences	DSBP
Mme	Guérin	Virginie	Maître de conférences	DSBP
Mme	Guétin-Poirier	Valentino	Maître de conférences	DPASP
Mme	Jacquet	Sandrine	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
Mme	Lagrée	Anne-Claire	Maître de conférences	DSBP
Mme	Le Barzic	Cécile	Ingénieur de recherche (DMV)	DPASP
Mme	Le Dudal	Marine	Ingénieur de recherche (DMV)	DSBP
Mme	Legrand	Chantal	Maître de conférences associé	DSBP
Mme	Lequette-Charransol	Ferrine	Maître de conférences	DSBP
M	Mammeri	Mohamed	Maître de conférences	DSBP
Mme	Manguin	Estelle	Maître de conférences	DEPEC
Mme	Maignac	Genevieve	Maître de conférences	DSBP
Mme	Marotto	Stéphanie	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
Mme	Maurice	Emeline	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
Mme	Mespoulhes-Rivière	Céline	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
M	Mortier	Jérémy	Maître de conférences associé	DEPEC
Mme	Mlmet	Narjès	Maître de conférences	DPASP
M	Munir	Muhammad Tanveer	Maître de conférences	DPASP
M	Nudelmann	Nicolas	Maître de conférences	DEPEC
M	Pignon	Charly	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
M	Polack	Bruno	Maître de conférences	DSBP
M	Radière	Guerric	Maître de conférences associé	DSBP
Mme	Ravary-Plumioën	Bérangère	Ingénieur de recherche (DMV)	DPASP
M	Reyes-Gomez	Edouard	Maître de conférences	DSBP
Mme	Rose	Hélène	Maître de conférences associé	DSBP
M	Tanquerel	Ludovic	Maître de conférences	DEPEC

Remerciements

Au Président du Jury de cette thèse, Mr Fabrice AUDIGIÉ, Professeur à l'EnvA,

Pour l'honneur que vous m'avez fait en acceptant la présidence de mon jury de thèse, mes hommages respectueux.

Au directeur de cette thèse, M. Henry CHATEAU, Professeur à l'EnvA,

Pour m'avoir permis de participer à ce projet, ainsi que pour votre disponibilité et votre accompagnement, mes plus sincères remerciements.

A Mme Virginie COUDRY, Ingénieure de recherche à l'EnvA,

Pour m'avoir fait l'honneur d'être membre de mon jury de thèse, sincères remerciements.

A Mme Sandrine JACQUET, Ingénieure de recherche à l'EnvA,

Pour l'honneur que représente votre participation à ce jury, sincères remerciements.

A Mme Claire MOIROUD, praticienne hospitalière à l'EnvA,

Pour m'avoir intégré dans vos activités de recherche, sincères remerciements

A Mme Sandrine HANNE-POUJADE, ingénieure en analyse de données à LIM Group,

Pour avoir pris le temps de répondre à mes questions et à comprendre mes demandes, sincères remerciements.

Table des matières

Liste des figures.....	3
Liste des tableaux.....	5
Liste des abréviations.....	7
Introduction.....	9
Première partie : Hydrothérapie et mobilité dorsale équine : aspects pratiques et méthodologiques.....	11
1. Utilisation de la nage en piscine dans les protocoles de rééducation et d'entraînement du cheval athlète.....	11
A. Généralités sur les protocoles de rééducation fonctionnelle.....	11
B. Place de l'hydrothérapie dans les protocoles de rééducation.....	11
C. Utilisation de la piscine dans l'entraînement du cheval athlète.....	12
D. Conception et types de piscines.....	13
E. Etude biomécanique de la nage du cheval.....	14
F. Indications, contre-indications et limites d'utilisation de la piscine en rééducation équine.....	17
a. Indications.....	17
b. Contre-indications et conseils associés à la piscine.....	19
2. Caractérisation de la mobilité dorsale au trot en ligne droite.....	20
A. Caractéristiques du trot en ligne droite.....	20
B. Méthode d'évaluation de la mobilité dorsale.....	21
a. Utilisation d'un grade clinique de mobilité.....	21
b. Utilisation de méthodes instrumentales.....	21
C. Choix de la méthode.....	23
Deuxième partie : Etude expérimentale.....	25
1. Simple Summary.....	25
2. Abstract.....	25
3. Keywords.....	26
4. Introduction.....	26
5. Materials and Methods.....	27
A. Animals Included in the Study.....	27
B. Grouping Based on Lesion Location.....	28
C. Training Protocol.....	29
D. Data Acquisition.....	31
E. Statistical Analysis.....	31
a. Comparison of dorsal mobility between thoracolumbar and cervical groups.....	31
b. Evolution of dorsal mobility at group and individual levels.....	31
6. Results.....	32
A. Descriptive results.....	32
B. Between-group comparison by lesion location.....	33
C. Within-group evolution.....	34
a. Individual results for horses with cervical lesions.....	34
b. Individual results for horses with thoracolumbar lesions.....	35
7. Discussion.....	36
A. Group-level findings and biomechanical interpretation.....	36
B. Within-group evolution and temporal patterns.....	36

C. <i>Individual variability and clinical relevance</i>	37
D. <i>Methodological considerations</i>	37
E. <i>Clinical implications and future directions</i>	38
8. Conclusion	38
Troisième partie : Discussion	41
1. Analyses inter-groupes.....	41
2. Analyses intra-groupes.....	41
3. Analyse individuelle et variabilité des réponses.....	42
4. Variabilité inter- et intra-individuelle	42
5. Réponses biphasées et interprétations.....	42
6. Caractère novateur et limites méthodologiques.....	43
7. Considérations cliniques et perspectives	44
Conclusion	45
Liste des références bibliographiques	47
Annexe	53

Liste des figures

Figure 1 : Exemples de programmes d'entraînement intégrant de la piscine utilisés dans l'étude de Misumi <i>et al.</i> (1994).....	13
Figure 2 : Image de la piscine en U du CIRALE (source : Normandie Equine Vallée).....	14
Figure 3 : Décomposition du mouvement de l'antérieur gauche lors d'un cycle en piscine (d'après Santosuosso <i>et al.</i> , 2021).....	15
Figure 4 : Les 3 différents styles de nage identifiés par Grossi <i>et al.</i> , (2024)	16
Figure 5 : Images de l'hyperextension de l'axe lors de la nage en piscine et de la variabilité entre les chevaux (d'après Grossi <i>et al.</i> , 2024)	20
Figure 6 : Positionnement des marqueurs MOCAP et des IMUs sur le cheval (d'après Hatrisse <i>et al.</i> , 2023).....	22
Figure 7 : Obtention de l'angle thoraco-lombaire à partir des positions des capteurs IMUs placés sur le garrot, la croupe et T18 (d'après Hatrisse <i>et al.</i> , 2023)	23

Liste des tableaux

Tableau 1 : Grade clinique de défaut de mobilité dorsale au trot en ligne droite (d'après Coudry <i>et al.</i> , 2007)	21
Table 2 : Distribution of horses included in the study and associated lesions. SF: French warmblood; PFS: French pony; Z: Zangersheide; SJ: show jumping; OA: osteoarthritis; AP-SIVJ: articular processes-synovial intervertebral joints; DSP: dorsal spinal process; C: cervical vertebra; T: thoracic vertebra; R: rib; L: lumbar vertebra.	29
Table 3 : 2 W Weekly training schedules during Phase 1 (Land training) and Phase 2 (Aquatic training). "Jumping": ridden session focused on jumping exercises, including the sequence of a show jumping course; "Gymnastic-cavaletti": mixed session combining flatwork and gymnastic exercises over cavaletti (<50 cm); "Rest day": Sunday dedicated to light exercise only, consisting of walking in a mechanical walker (no ridden work).	30
Table 4 : Distance swum per session (in meters) during aquatic training phase 1 (weeks 5–8) and phase 2 (weeks 9-12). Swimming sessions were held on Mondays, Wednesdays, and Fridays each week. In week 12, no swimming session was performed on Friday (-), as horses underwent the final scintigraphic examination.	31
Table 5 : Individual and group mean (\pm SD) of T18 flexion-extension amplitude angle ($^{\circ}$) across the three training phases for horses with cervical and thoracolumbar lesions. The phases are: land training (LT), aquatic training 1 (AT1) and aquatic training 2 (AT2)	33
Table 6 : Results of Student's t-tests comparing the mean T18 flexion-extension amplitude ($^{\circ}$) between cervical and thoracolumbar groups across the three training phases: land training (LT), aquatic training 1 (AT1), aquatic training 2 (AT2). Values represent group means (\pm SD) and between-group differences with 95% confidence intervals (CI).....	34
Table 7 : Results of linear mixed effect models (type III ANOVA) and post-hoc Tukey-Kramer (TK tests) assessing changes in T18 flexion-extension amplitude ($^{\circ}$) across the three training phases for each horse and globally for each group. Mean differences (Δ) between phases are expressed in degrees ($^{\circ}$), together with percentage of change (% evol), associated TK <i>p</i> -values and Cohen's <i>d</i> effect sizes (C's d). Comparisons include: AT1 – LT (change from land training to aquatic training 1); AT2 - AT1 (change from aquatic training 1 to aquatic training 2); AT2 – LT (change from land training to aquatic training 2). Effect sizes are omitted (-) when non-significant or when variance was insufficient for calculation.	35

Liste des abréviations

Bpm : battements par minute

CAPT-ESE : Capteurs et instruments de monitoring en e-santé équine

CIRALE : Centre d'Imagerie et de Recherche sur les Affections Locomotrices Équines

EnvA : École Nationale Vétérinaire d'Alfort

FTH/FT : ratio entre les fibres musculaires rapides oxydatives (type IIa) et les fibres rapides peu ou non oxydatives (type IIb)

IMU : Unité de Mesure Inertielle

LD : Ligne Droite

LME : Modèle linéaire à effets mixtes

L1 : première vertèbre lombaire

m : mètre

mmHg : millimètre de mercure

MOCAP : Méthode de Capture de Mouvement Optique

m/jour : mètre par jour

TL : thoraco-lombaire

T18 : 18^{ème} vertèbre thoracique

° : degré

° : degré Celsius

% : pourcent

Introduction

Les affections locomotrices constituent l'une des principales causes de mise à la retraite prématurée chez les chevaux athlètes, qu'ils soient de course ou de sport (Thomson *et al.*, 2014). Ces pathologies musculosquelettiques regroupent un large éventail d'atteintes, parmi lesquelles figurent les affections tendineuses, ligamentaires et ostéo-articulaires (Lam *et al.*, 2007 ; Silva *et al.*, 2008 ; Santosuosso *et al.*, 2021 ; Irwin et Howell, 1980). La prise en charge de ces affections repose sur un diagnostic précis (Kaneps, 2016) et sur la mise en œuvre de stratégies thérapeutiques diversifiées et individualisées, combinant traitements médicaux, interventions chirurgicales lorsque nécessaire, et protocoles de rééducation adaptés. L'objectif est de favoriser une récupération rapide permettant le retour au niveau de performance antérieur (Atalaia *et al.*, 2021). Chez les chevaux de course, dont la carrière est déjà relativement courte, avec une mise à la retraite moyenne autour de cinq ans (Munsters *et al.*, 2013 ; Shrestha *et al.*, 2021), ces affections peuvent en effet avoir un impact économique considérable pour les propriétaires. Dans ce contexte, le recours à des approches complémentaires de rééducation, telles que la natation en piscine, peut constituer une option intéressante pour soutenir la récupération fonctionnelle et prolonger la carrière sportive.

Malgré les infrastructures spécifiques requises, les piscines équines ont connu un développement important depuis les années 1970 (Irwin et Howell, 1980 ; Murakami *et al.*, 1976 ; Santosuosso *et al.*, 2021 ; Young, 2022). En effet, les propriétés physiques de l'eau offrent de nombreux bénéfices thérapeutiques. La flottabilité réduit la charge mécanique supportée par les membres, diminue le stress articulaire et tissulaire, atténue l'inflammation et la douleur, et facilite une reprise précoce de l'activité (King, 2016). La résistance de l'eau favorise le recrutement musculaire et permet un meilleur contrôle neuromusculaire (King, 2016 ; Tokuriki *et al.*, 1999). Elle sollicite également l'appareil cardio-respiratoire (Porter, 2005) tout en améliorant le retour veineux et lymphatique (Kamioka *et al.*, 2010). Ainsi, la piscine est largement intégrée dans les programmes de réhabilitation des affections musculosquelettiques (Muñoz *et al.*, 2019 ; Porter, 2005) ou dans des protocoles d'entraînement en particulier chez les chevaux de courses (Klomp, 2014 ; Misumi *et al.*, 1994).

Cependant, la nage impose au cheval de maintenir la tête hors de l'eau, ce qui entraîne une hyperextension des régions cervico-thoraciques et, potentiellement, thoraco-lombaire et pelvienne (King, 2016). Une telle posture peut constituer une contre-indication chez les chevaux présentant des lésions axiales, en particulier cervicales (King, 2016 ; Muñoz *et al.*, 2019). Par conséquent, chez les chevaux présentant à la fois des dorsalgies et des affections locomotrices des membres, l'utilisation de la piscine pourrait être limitée, voire contre-indiquée. Toutefois, cette recommandation repose uniquement sur des hypothèses non étayées à ce jour. Aucune étude n'a spécifiquement évalué l'effet de la nage en piscine sur la mobilité dorsale, en particulier chez les chevaux présentant des affections de l'axe. Cette lacune dans la littérature scientifique constitue précisément le fondement et l'intérêt de la présente thèse.

Ce travail s'inscrit dans le cadre du projet de recherche CAPT-ESE (Capteurs et instruments de monitoring en e-santé équine), initié en 2020 et financé par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR-20-CE19-0016). La contribution à ce projet justifie la rédaction d'un article scientifique, servant

de base au format de cette thèse. Ainsi, la première partie est consacrée à une présentation du contexte scientifique concernant l'utilisation de la piscine chez le cheval et l'évaluation de la mobilité dorsale. La seconde partie présente l'article rédigé dans le cadre du projet, tandis que la dernière section développe des éléments complémentaires de discussion.

Première partie : Hydrothérapie et mobilité dorsale équine : aspects pratiques et méthodologiques

1. Utilisation de la nage en piscine dans les protocoles de rééducation et d'entraînement du cheval athlète

La prise en charge des affections locomotrices chez le cheval repose avant tout sur un diagnostic précis et l'établissement d'un pronostic adapté. Les stratégies thérapeutiques peuvent inclure des traitements médicaux (anti-inflammatoires, infiltrations, plasma riche en plaquettes, etc.), voire des interventions chirurgicales dans certains cas. Néanmoins, le pilier du traitement demeure l'élaboration d'un protocole de rééducation individualisé, ajusté à la nature et à la gravité de l'atteinte, condition essentielle à une récupération fonctionnelle optimale (Atalaia *et al.*, 2021). Ainsi, dans ce contexte, l'hydrothérapie, et plus particulièrement la nage en piscine, peut être envisagée comme une modalité complémentaire de rééducation et d'entraînement.

A. Généralités sur les protocoles de rééducation fonctionnelle

Les protocoles de rééducation chez le cheval sont nombreux et doivent être adaptés en fonction de la nature, de la localisation et de la gravité de l'affection locomotrice présentée (Atalaia *et al.*, 2021). L'efficacité d'un protocole de rééducation repose sur une évaluation clinique régulière, un encadrement rigoureux et une adaptation constante aux réponses individuelles du cheval. L'objectif est d'assurer la cicatrisation des tissus lésés et de restaurer les qualités biomécaniques du cheval athlète afin de permettre une récupération rapide avec un retour au niveau de performance antérieur (Atalaia *et al.*, 2021 ; King, 2016).

De manière générale, la rééducation repose sur plusieurs types d'interventions complémentaires. Les exercices conventionnels en constituent la base. Ils consistent en une reprise progressive et contrôlée du travail à pied ou monté. Cette progression est adaptée selon l'évolution clinique et les capacités fonctionnelles du cheval (Buchner et Schildboeck, 2006).

En parallèle des traitements physiques, les traitements instrumentaux sont fréquemment intégrés au protocole. Parmi les plus utilisés, on retrouve notamment les ondes de choc extracorporelles ou le laser thérapeutique pour accélérer la cicatrisation et diminuer la douleur (Schlachter et Lewis, 2016).

B. Place de l'hydrothérapie dans les protocoles de rééducation

L'hydrothérapie occupe également une place importante dans les programmes de rééducation, avec des modalités nécessitant un équipement plus ou moins spécialisé. Parmi les formes les plus courantes, on retrouve la marche en eau peu profonde (à la plage par exemple), la modalité la plus ancienne et la plus simple à mettre en œuvre. À l'inverse, il existe des installations plus complexes,

telles que les tapis roulants immergés (water treadmills) ou les piscines de nage. Avec des tapis roulants immergés il est possible d'adapter la profondeur et la vitesse selon l'affection et le stade de rééducation. Ces deux techniques permettent un travail plus intense, avec une sollicitation musculaire et cardio-respiratoire importante tout en déchargeant le poids appliqué aux membres (King, 2016). Leurs utilisations tendent à se démocratiser.

Ainsi, d'après un questionnaire développé par Steel *et al.* (2019) auprès de 270 entraîneurs de chevaux de course australien, 103 d'entre eux (38,1 %) utilisaient la natation dans leurs programmes d'entraînement. Les raisons les plus fréquemment évoquées pour l'utilisation de la natation étaient :

- de remplacer le travail sur piste chez les chevaux présentant des lésions des membres à 79,4 % ;
- d'améliorer ou maintenir la condition physique à 62,7 % ;
- d'offrir une stimulation mentale en diversifiant l'entraînement à 40,0 % (Steel *et al.*, 2019).

C. Utilisation de la piscine dans l'entraînement du cheval athlète

Comme évoqué précédemment, l'hydrothérapie, et plus particulier la nage, est également intégrée dans certains protocoles d'entraînement du cheval, indépendamment de toute affection locomotrice. Dans ce cadre, les séances de nage sont progressivement introduites en complément de l'entraînement conventionnel, afin d'apporter un travail musculaire et cardiovasculaire différent (figure 1). La fréquence, la durée et l'intensité des séances sont généralement ajustées en fonction du niveau de condition physique du cheval, de son âge, de ses antécédents médicaux et des objectifs recherchés (Leguillette, 2024).

L'intérêt d'un entraînement mixte, combinant travail classique et séances de piscine, a été évalué par plusieurs auteurs. Klomp (2014) et Misumi *et al.* (1994) ont comparé les effets d'un entraînement avec piscine à un entraînement traditionnel, notamment en termes de performances en course, de vitesse, de fréquence cardiaque et de concentration en lactate sanguin. Les résultats de Klomp (2014) n'ont pas révélé de différences significatives entre les deux groupes sur ces paramètres physiologiques et de performance.

Cependant les chevaux ayant intégré la piscine à leur entraînement ont présenté moins d'affections locomotrices au cours du protocole que ceux soumis à un entraînement classique (Misumi *et al.*, 1994). Ces résultats suggèrent que, même si la piscine n'améliore pas nécessairement la performance directe, elle pourrait jouer un rôle préventif en contribuant à préserver l'intégrité locomotrice du cheval et en réduisant le risque de blessures par la limitation des contraintes mécaniques exercées sur les articulations et les tissus mous.

Figure 1 : Exemples de programmes d'entraînement intégrant de la piscine utilisés dans l'étude de Misumi *et al.* (1994)

	Running training (6 days/week)	Swimming training Protocol (1) (4 days/week)	Swimming training Protocol (2) (4 days/week)
0 month			
1st month	Walk 1,000 m Trot 1,200 m Canter 1,200 m	100 m*3/day	100 m*3/day
2nd month	Walk 800 m Trot 1,800 m Canter 2,400 m		
3rd month	Walk 800 m Trot 1,800 m Canter 2,400 m Gallop 400 m	100 m*5/day	
4th month	Walk 800 m Trot 1,200 m Canter 3,000 m Gallop 800 m		
5th month	Walk 800 m Trot 1,200 m Canter 3,000 m Gallop 1,200 m		

Group A: running training.

Group B: running training+swimming training protocol (1).

Group C: running training+swimming training protocol (2).

D. Conception et types de piscines

Les piscines dédiées à la rééducation fonctionnelle ou à l'entraînement des chevaux présentent une grande diversité de conceptions. Parmi les configurations les plus courantes figurent les formes circulaires (Imahara, 1976), elliptiques (Grossi *et al.*, 2024), linéaires (Santosuosso *et al.*, 2021) ou en U (figure 2) (Gaulmin *et al.*, 2025). Chaque forme offre des avantages spécifiques : les piscines circulaires ou elliptiques permettent par exemple une nage continue, facilitant l'endurance, tandis que les bassins linéaires ou en U sont souvent privilégiés pour des exercices plus ciblés ou des allers-retours contrôlés. Des minutes de tapis roulant sont parfois intercalées entre les tours pour favoriser la récupération. En Australie, certains bassins sont conçus pour que le cheval nage sur place, maintenu par la queue. S'ils offrent des avantages économiques et un gain de place (Steel *et al.*, 2019), ils génèrent néanmoins des contraintes biomécaniques et comportementales qui doivent être prises en considération.

Ces infrastructures sont généralement équipées d'une ou plusieurs rampes d'accès à pente douce, conçues pour faciliter l'entrée et la sortie des chevaux en limitant le stress et les risques de blessure (Gaulmin *et al.*, 2025 ; Grossi *et al.*, 2024). La profondeur moyenne de ces bassins est d'environ trois mètres, ce qui assure une immersion suffisante pour permettre aux chevaux de nager sans toucher le fond (Gaulmin, 2024 ; Imahara, 1976 ; Santosuosso *et al.*, 2021).

Figure 2 : Image de la piscine en U du CIRALE (source : Normandie Equine Vallée)



Durant les séances de nage, les chevaux sont systématiquement accompagnés et encadrés par du personnel formé. Le guidage se fait à l'aide d'un manche en bois ou d'une longe attachée au licol ou à un caveçon. Cette intervention permet de contrôler le déroulement de la séance et d'imposer ou non la vitesse de nage du cheval en fonction des objectifs de la séance (Irwin et Howell, 1980).

Enfin, la conception de ces piscines tient compte de nombreux paramètres de sécurité, tant pour les chevaux que pour les encadrants. L'ergonomie des installations, les matériaux utilisés, le contrôle de la qualité de l'eau sont pensés pour minimiser les risques tout en favorisant une nage efficace (Leguillette, 2024).

E. Etude biomécanique de la nage du cheval

La description biomécanique de la nage chez le cheval a d'abord été réalisée de manière empirique par Murakami *et al.* (1976). Ces auteurs ont observé, dans une piscine circulaire, que les chevaux nageaient le corps entièrement immergé, seule la tête dépassant, maintenue à l'horizontale, la mâchoire fermée, les mandibules effleurant la surface de l'eau. Cette posture permet un dégagement optimal des voies respiratoires. La profondeur d'immersion du garrot et de la croupe variait légèrement selon les individus, certains laissant parfois émerger la croupe (Murakami *et al.*, 1976). Ces observations ont été confirmées par Gaulmin *et al.* (2025).

Lorsqu'il perd pied, le cheval parvient naturellement à nager (Irwin et Howell, 1980). Cependant, il doit maintenir un mouvement constant pour assurer sa stabilité latérale et éviter que l'arrière-main ne s'enfonce (Nicholl, 1978).

Concernant la biomécanique du mouvement, les premières études présentent des résultats contradictoires. Murakami *et al.* (1976) estiment que les membres antérieurs participent à la direction et à la stabilisation, tandis que les postérieurs assurent la propulsion. Nicholl (1978), au contraire, attribue le rôle propulsif principal aux antérieurs, tout en leur conférant également un rôle stabilisateur. Murakami *et al.* (1976) notent par ailleurs des similitudes avec certaines allures terrestres en deux temps, comme le trot ou l'amble. Toutefois, les groupes musculaires sollicités

pendant la nage diffèrent partiellement de ceux mobilisés lors des allures terrestres (Asheim *et al.*, 1970) et le schéma moteur de nage reste encore mal défini.

Des travaux plus récents ont cherché à mieux caractériser ce schéma dans différents types de piscines. Grossi *et al.* (2024) ont étudié la nage dans une piscine ovale à entrée et sortie unique, Santosuosso *et al.* (2021) avec une piscine linéaire de 100 mètres et Gaulmin *et al.* (2025) avec une piscine en U dotée d'entrées et de sorties indépendantes. Les résultats obtenus présentent certaines concordances.

Contrairement au milieu terrestre, où la foulée est divisée en quatre phases (suspension, amortissement, soutien, propulsion), le mouvement d'un membre en piscine (figure 3) ne comporte que deux phases : ramenée et propulsion (Gaulmin, 2024 ; Santosuosso *et al.*, 2021). Le ramené correspond à la phase où le membre opère un mouvement vers l'avant (aussi appelé protraction). À l'inverse, la propulsion correspond à la phase où le membre opère un mouvement vers l'arrière afin de propulser le cheval (aussi appelé rétraction).

Figure 3 : Décomposition du mouvement de l'antérieur gauche lors d'un cycle en piscine (d'après Santosuosso *et al.*, 2021)



Les différents styles de nage identifiés par Grossi *et al.* (2024) sont les suivants (figure 4) :

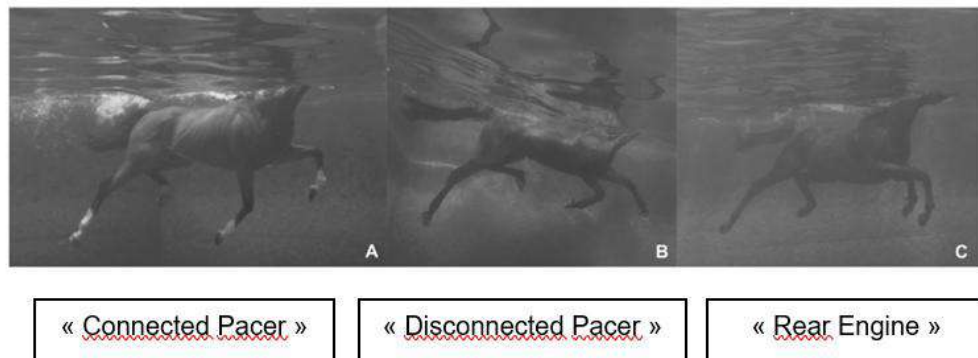
- Le "Connected Pacer", où les membres ipsilatéraux sont synchronisés. Les membres antérieur et postérieur gauche sont en phase de propulsion quand les membres antérieur et postérieur droit sont en phase de ramenée. Ce style correspond à l'amble observé par Murakami *et al.* (1976).
- Le "Disconnected Pacer", où chaque membre se déplace indépendamment : antérieur droit, postérieur droit, antérieur gauche, puis postérieur gauche. Ce style rappelle la "nage du chien" (Fish *et al.*, 2021).
- Le "Rear Engine", où les antérieurs restent en semi-flexion et seuls les postérieurs, à tour de rôle, assurent la propulsion.

Gaulmin *et al.* (2025) identifient également trois stratégies de nage grâce à un algorithme, avec deux sous-types. Tous les chevaux de l'étude effectuent la même séquence de propulsion : antérieur gauche, postérieur gauche, antérieur droit, puis postérieur droit. Les variations résident dans le recouvrement temporel entre les membres :

- Une stratégie en deux temps avec recouvrement latéral, correspondant au « Connected Pacer » de Grossi *et al.* (2024).

- Une stratégie en deux temps avec recouvrement diagonal, où les membres diagonaux sont synchronisés, similaire au trot observé par Murakami *et al.* (1976).
- Une stratégie en quatre temps, dans laquelle les membres se déplacent séquentiellement. Deux sous-types sont distingués : l'un avec un recouvrement faible, l'autre avec un regroupement temporel élevé. Ces stratégies sont proches du « Disconnected Pacer » de Grossi *et al.* (2024).

Figure 4 : Les 3 différents styles de nage identifiés par Grossi *et al.* (2024)



Il est important de noter qu'un cheval n'adopte pas nécessairement une seule stratégie de nage. Dans l'étude de Gaulmin *et al.* (2025), six chevaux sur onze ont changé de stratégie au fil du temps. Le type de piscine utilisé pourrait aussi expliquer les variations dans les styles de nage observés selon les études.

Santosuosso *et al.* (2021, 2022) se sont focalisés sur les amplitudes articulaires des membres antérieurs et postérieurs. Ils observent une flexion plus marquée, notamment au niveau du carpe, par rapport aux allures terrestres, tandis que l'amplitude d'extension est réduite, en particulier au niveau du boulet. Ces résultats sont concordants avec ceux de Giraudet *et al.* (2023).

Jusqu'à présent, la description du schéma de nage chez le cheval s'est essentiellement focalisée sur les membres. Dans les travaux de Santosuosso *et al.* (2021, 2022) et de Gaulmin *et al.* (2025), aucun capteur n'a été positionné sur le dos ou, plus largement, sur l'axe.

En ce qui concerne les régions axiales, les descriptions disponibles demeurent essentiellement observationnelles. Néanmoins, les études concordent pour indiquer que le cheval maintient sa tête hors de l'eau dans une position horizontale (Irwin et Howell, 1980 ; Murakami *et al.*, 1976). Cette posture implique un redressement de l'encolure, entraînant une extension cervico-thoracique, particulièrement marquée lors de l'entrée en piscine (King, 2016). Les muscles de l'encolure, notamment le splénius et le brachio-céphalique, sont alors fortement sollicités (Tokuriki *et al.*, 1999).

Concernant le dos, l'étude de Grossi *et al.* (2024) portant sur 39 chevaux révèle que 46,2 % nagent avec un alignement croupe/garrot, 35,9 % avec une croupe plus basse, et 17,9 % avec une croupe plus haute que le garrot. Les auteurs soulignent que les chevaux qu'ils ont engagé dans un programme de réhabilitation en piscine présentent significativement plus souvent une croupe alignée au garrot ou plus basse. Les auteurs suggèrent qu'un défaut de propulsion postérieure, lié à l'affection ou à la période de repos, pourrait être à l'origine de ces positions. Ces variations dans l'alignement garrot/croupe pourraient influencer les contraintes exercées sur le rachis pendant la nage, notamment en accentuant l'hyperextension cervico-thoracique (Grossi *et al.*, 2024).

F. Indications, contre-indications et limites d'utilisation de la piscine en rééducation équine

a. Indications

Les indications de l'hydrothérapie, et en particulier de la nage en piscine, sont déduites des propriétés physiques de l'eau, notamment la flottabilité, la viscosité, la pression hydrostatique et la température (Atalaia *et al.*, 2021 ; Gaulmin, 2024).

- *Flottabilité : conséquences sur la diminution des contraintes mécaniques*

La flottabilité, paramètre fondamental de l'hydrothérapie, permet une réduction significative des charges exercées sur les membres du cheval. En limitant les effets de la gravité, elle soulage l'appareil locomoteur (Prins et Cutner, 1999). Ainsi, un cheval immergé jusqu'au niveau du tuber coxae voit le poids supporté par ses membres réduit d'environ 75 % (McClintok *et al.*, 1987).

Cette décharge mécanique réduit le stress articulaire et tissulaire, atténue l'inflammation et la douleur, et favorise une reprise précoce du travail (King, 2016). La piscine est ainsi considérée comme une modalité intéressante dans la prise en charge des affections articulaires, ligamentaires et tendineuses des membres (Muñoz *et al.*, 2019 ; Porter, 2005).

L'usage de la flottabilité à des fins thérapeutiques est bien documenté en médecine vétérinaire canine, notamment pour l'arthrose. En équine, cependant, les données restent limitées (Buchner et Schildboeck, 2006). King *et al.* (2013) ont étudié 16 chevaux chez lesquels une arthrose du carpe avait été induite par arthroscopie. L'analyse histologique a mis en évidence une réduction significative de l'inflammation synoviale dans le groupe immergé par rapport au non-immersé (King *et al.*, 2017). La piscine pourrait donc être bénéfique dans la gestion de l'arthrose, en permettant une mobilisation articulaire avec des contraintes mécaniques réduites (Porter, 2005).

En complément, Smith (1981) a rapporté que l'immersion de chevaux atteints de fractures dans des cuves remplies d'eau favorisait une cicatrisation plus rapide, grâce à la diminution des contraintes exercées sur les structures osseuses. Ainsi Carstanjen *et al.* (2012) ont utilisé un protocole contenant de la piscine à la suite d'une chirurgie sur un poulain de cinq jours souffrant d'une fracture du radius. Avec ce protocole, la cicatrisation a été jugée très satisfaisante.

- *Résistance au mouvement : intérêt sur l'appareil musculosquelettique*

La viscosité de l'eau, environ 12 fois supérieure à celle de l'air, engendre une résistance accrue au déplacement (King, 2016). Contrairement à la flottabilité, cet effet est indirect et dépend de la taille, de la vitesse, et de la direction du mouvement du corps immergé (Prins et Cutner, 1999).

Cette résistance accroît le recrutement musculaire nécessaire à la locomotion, comme l'a confirmé l'électromyographie, qui montre une activité musculaire supérieure à celle mesurée sur sol (Tokuriki *et al.*, 1999).

Ce travail musculaire s'accompagne d'une amélioration du contrôle neuromusculaire, avec une activation accrue des muscles agonistes et une réduction des co-contractions des antagonistes (King, 2016).

L'exercice en piscine modifie également la typologie des fibres musculaires. Misumi *et al.* (1994) ont mené une étude sur 18 chevaux de course de deux ans répartis en trois groupes selon le type d'entraînement reçu pendant cinq mois. Le groupe A n'a pas nagé ; le groupe B a effectué des séances de nage d'intensité croissante (300 m/jour pendant deux mois, puis 500 m/jour les trois derniers mois) ; le groupe C a nagé à intensité constante (300 m/jour). Une augmentation significative du ratio entre les fibres musculaires rapides oxydatives (type IIa) et les fibres rapides

peu ou non oxydatives (type IIb) (ratio FTH/FT) a été observée dans les groupes B et C, indiquant une proportion plus élevée de fibres de type IIb (contraction rapide aérobie) par rapport aux fibres de type IIa (très rapide anaérobie). Ces résultats suggèrent que la natation améliore la capacité aérobie musculaire.

Comme évoqué précédemment, la nage modifie les amplitudes articulaires par rapport aux allures terrestres : la flexion augmente, notamment au niveau du carpe, tandis que l'extension diminue, en particulier au niveau du boulet (Giraudet *et al.*, 2023 ; Santosuosso *et al.*, 2021, 2022). La résultante est une augmentation globale des amplitudes articulaires sauf pour le boulet où l'amplitude globale est diminuée à cause de la forte diminution de l'extension (Santosuosso *et al.*, 2021). La piscine serait donc particulièrement indiquée dans la rééducation d'affections où l'hyperextension du boulet est contre-indiquée. La piscine pourrait donc avoir un intérêt dans les protocoles de rééducation de tendinites du fléchisseur superficiel du doigt, de desmites du suspenseur, de fractures des os sésamoïdes proximaux ou d'affections des ligaments sésamoïdiens distaux (Muñoz *et al.*, 2019 ; Santosuosso *et al.*, 2021).

- *Résistance au mouvement : intérêt sur l'appareil cardiorespiratoire*

La résistance à l'avancement dans l'eau induit également une élévation de la fréquence cardiaque. Que le cheval nage librement ou soit attaché, la fréquence cardiaque observée varie entre 110 et 202 bpm (Bonelli *et al.*, 2017 ; Hobo *et al.*, 1998 ; Klomp, 2014 ; Santosuosso *et al.*, 2023 ; Thomas *et al.*, 1980). Klomp (2014) a mis en évidence une corrélation entre la fréquence cardiaque et la vitesse de nage, mais signale une faible reproductibilité entre les séances, ce qui limite son intérêt comme indicateur de performance.

De plus, Thomas *et al.* (1980) ont montré que la pression artérielle moyenne double pendant la nage, avec une pression systolique pouvant atteindre 300 mmHg. Cette variable est la plus étroitement corrélée à l'intensité de l'effort fourni, suggérant que la nage en condition attachée peut constituer un exercice à charge de travail élevée (Oberlé, 2024).

Selon Porter (2005), cette sollicitation cardiorespiratoire justifie l'emploi de la piscine chez les chevaux de course ayant subi une arthroscopie pour retrait de fragment d'ostéochondrose. La reprise de la nage étant possible dès la cicatrisation cutanée (14 jours), cela permet de maintenir les capacités cardiovasculaires tout en accélérant la récupération.

La possibilité d'améliorer la fonction cardiaque par la nage a été explorée par Davie *et al.* (2008). Un protocole de neuf semaines de nage libre (6 à 8 minutes, six jours par semaine) n'a pas mis en évidence de différence significative avec un groupe témoin soumis à un entraînement classique, que ce soit sur la fréquence cardiaque de récupération, la fréquence respiratoire, ou la température corporelle. Les auteurs suggèrent que la nage libre à allure spontanée ne sollicite pas suffisamment le système cardiovasculaire, ce qui renforce l'intérêt d'une nage encadrée et contrôlée.

- *Amélioration du drainage lymphatique et du retour veineux*

Il a été suggéré que la pression hydrostatique de l'eau serait susceptible d'améliorer le retour veineux et le drainage lymphatique, ce qui pourrait favoriser la résorption des œdèmes et réduire la douleur (Kamioka *et al.*, 2010).

- *Intérêt contre l'inflammation*

L'immersion en eau froide (cryothérapie, 10–15 °C) induit une vasoconstriction marquée, réduisant la perfusion tissulaire de plus de 80 % (King, 2016). Cette diminution de l'apport sanguin est associée à une réduction de l'œdème, de l'inflammation et de la douleur (King, 2016). L'effet est maximal dans les 24 heures suivant un effort intense et peut persister jusqu'à 72 heures après un traumatisme (Porter, 2005).

À l'inverse, l'immersion en eau chaude (thermothérapie entre 40 et 45 °C) induit une vasodilatation périphérique, favorisant la perfusion musculaire, la relaxation, et la réduction de la douleur, de l'inflammation chronique et des spasmes musculaires (King, 2016).

Ainsi, un contrôle précis de la température de l'eau permet d'adapter l'effet thérapeutique selon le stade inflammatoire de l'affection musculosquelettique (King, 2016).

b. Contre-indications et conseils associés à la piscine

La nage en piscine présente certaines contre-indications et nécessite la mise en œuvre de précautions spécifiques. Afin que les séances soient bénéfiques, il est impératif que le cheval entre dans l'eau en toute sécurité. Or, le stress induit par l'entrée dans la piscine, objectivé par une élévation de la fréquence cardiaque (Santosuosso *et al.*, 2023), constitue l'une des principales causes d'interruption des séances (Steel *et al.*, 2019). Une phase d'habituation progressive s'avère donc essentielle à la réussite du programme.

Par ailleurs, il est important de souligner qu'un cheval ne peut pas être immergé s'il présente une plaie cutanée. En cas d'intervention chirurgicale, les séances de nage ne peuvent débuter qu'après cicatrisation complète, soit au minimum 14 jours post-opératoire (Porter, 2005).

La mobilisation intense des masses musculaires lors de la nage peut également prédisposer le cheval à des épisodes de myosite (King, 2016). Une surveillance clinique accrue est donc recommandée après chaque séance.

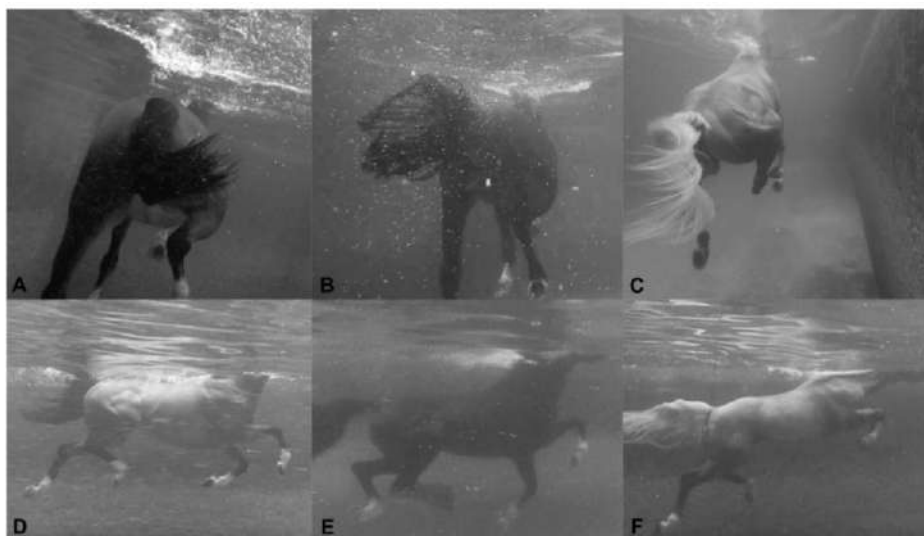
Des cas isolés de coliques (possiblement induites par le stress) ou d'hémorragie pulmonaire induite par l'exercice (EIPH) ont été rapportés à la suite de séances de piscine, bien que ces événements restent sporadiques (Leguillette, 2024).

Enfin, comme mentionné précédemment, King (2016) décrit visuellement que la nage conduit le cheval à maintenir la tête hors de l'eau, induisant une hyperextension des régions cervico-thoracique, thoraco-lombaire et pelvienne (figure 5). Toutefois, cette description repose uniquement sur une observation visuelle, sans confirmation instrumentale. King (2016) rapporte que plus la croupe est basse (C et F, figure 5), plus l'hyperextension de l'axe semble marquée ; cette configuration correspond notamment aux chevaux en réhabilitation dans l'étude de Grossi *et al.* (2024). Une telle posture pourrait représenter une contre-indication chez les chevaux présentant des lésions axiales, en particulier cervicales (King, 2016 ; Muñoz *et al.*, 2019).

Cependant, cette contre-indication demeure fondée sur des considérations biomécaniques théoriques. À ce jour, aucune étude n'a spécifiquement évalué l'évolution de la mobilité dorsale ni documenté une éventuelle aggravation des symptômes de dorsalgie liée à l'entraînement en piscine, en particulier chez les chevaux atteints de pathologies de l'axe.

L'absence de données objectives sur l'impact de la nage souligne donc la nécessité de caractériser la mobilité dorsale par des méthodes standardisées, comme au trot en ligne droite.

Figure 5 : Images de l'hyperextension de l'axe lors de la nage en piscine et de la variabilité entre les chevaux (d'après Grossi et al., 2024)



2. Caractérisation de la mobilité dorsale au trot en ligne droite

Afin de caractériser d'éventuels effets d'un entraînement en piscine sur la mobilité axiale thoraco-lombaire, il est indispensable de disposer de méthodes de mesure objectives. Dans cette partie sont décrites les méthodes retenues pour notre étude, destinées à l'évaluation de la mobilité dorsale dans le plan sagittal lors du trot en ligne droite et sur sol dur, de manière à assurer des conditions d'examen standardisées et reproductibles.

A. Caractéristiques du trot en ligne droite

Le trot est une allure symétrique en deux temps, caractérisée par l'alternance des bipèdes diagonaux. Lors de chaque foulée, des mouvements successifs de flexion et d'extension du rachis sont observés dans le plan sagittal (Denoix et Pailloux, 1997).

Ces mouvements sont régulés par l'action coordonnée de groupes musculaires antagonistes qui assurent à la fois le soutien et l'accompagnement de la masse abdominale, contribuant ainsi à l'équilibre des contraintes exercées sur la colonne vertébrale. Les muscles extenseurs comprennent principalement le muscle erector spinae et le muscle fessier moyen, tandis que les fléchisseurs incluent les muscles de la paroi abdominale (dont le muscle droit de l'abdomen et le muscle oblique interne de l'abdomen) ainsi que le muscle iliopsoas (Denoix, 2014).

Au cours de la foulée, la colonne vertébrale suit un cycle de mobilisation répétitif. L'extension vertébrale, décrite comme une posture de « dos creux », débute lors de la protraction en phase de suspension, et se prolonge jusqu'à la fin de la phase d'appui. L'extension atteint son maximum au moment du soutien, concomitant de l'hyperextension du boulet. À ce stade, le ligament nuchal est relâché et les processus épineux se rapprochent.

À l'inverse, la phase de flexion vertébrale, correspondant à un « dos rond », débute avec la bascule du bassin en fin d'appui, et se poursuit jusqu'à la fin de la phase de suspension lors du ramené du membre. À ce stade le ligament nuchal est en tension et les processus épineux sont écartés.

Ainsi, au cours d'une foulée complète de trot, la colonne vertébrale thoraco-lombaire réalise deux cycles successifs de flexion/extension (Faber *et al.*, 2000).

B. Méthode d'évaluation de la mobilité dorsale

a. Utilisation d'un grade clinique de mobilité

L'évaluation de la mobilité dorsale chez le cheval peut être réalisée selon différentes approches, notamment à l'aide de scores cliniques (Coudry *et al.*, 2007 ; Maldonado *et al.*, 2022). Coudry *et al.* (2007) ont développé un score clinique permettant d'évaluer le défaut de mobilité dorsale (tableau 1), réparti en quatre grades (0 à 3). L'évaluation était réalisée au trot en ligne droite sur sol dur, à vitesse lente et rapide, ainsi qu'en cercle aux deux mains sur sol dur et souple et au galop en cercle aux deux mains sur sol souple. Ce score a été utilisé pour suivre l'évolution de la mobilité dorsale après administration de tiludronate chez des chevaux atteints d'arthrose thoraco-lombaire.

Maldonado *et al.* (2022) ont employé une échelle similaire, composée cette fois de six grades (0 à 5), afin d'évaluer la réponse de chevaux présentant des dorsalgies à des séances d'ostéopathie.

Cependant, l'utilisation de scores cliniques présente certaines limites, notamment une difficulté de discrimination entre les grades, en particulier lorsque leur nombre augmente. Afin de réduire la variabilité inter-observateur, des méthodes instrumentales d'évaluation ont été développées.

Tableau 1 : Grade clinique de défaut de mobilité dorsale au trot en ligne droite (d'après Coudry *et al.*, 2007)

Score	Grade	Description
0	Absence	Flexion TL normale, le cheval est très souple
1	Discret	Mobilité TL discrètement diminuée mais le cheval est globalement souple
2	Modéré	Diminution de la mobilité TL, allures étriquées, diminution de la propulsion postérieure, le cheval apparaît raide
3	Sévère	Diminution marquée de la mobilité TL, allures très étriquées, défaut de propulsion postérieure, cheval très raide

b. Utilisation de méthodes instrumentales

Les méthodes instrumentales permettent de déterminer la position précise de certains points anatomiques du dos du cheval (notamment le garrot, le tuber sacrale et différentes vertèbres) au cours du mouvement, à l'aide de capteurs ou de marqueurs. À partir de ces positions, les angles obtenus entre les points sont calculés par trigonométrie afin d'estimer les amplitudes de flexion/extension et leurs variations. Ces variations suivent généralement une courbe sigmoïde. Le calcul des angles est décrit en détail par Hattrisse *et al.* (2023).

- *Analyse du mouvement par capture optique*

La capture de mouvement optique (MOCAP) est la méthode la plus ancienne. Elle repose sur l'utilisation de marqueurs placés sur la peau (Egenvall *et al.*, 2023 ; Hardeman *et al.*, 2020 ; Hattrisse *et al.*, 2023), ou directement fixés sur l'os (Faber *et al.*, 2000). Ces marqueurs sont disposés à des emplacements anatomiques spécifiques, tels que le garrot, le tuber sacrale et certaines vertèbres (figure 6). Le cheval est ensuite filmé en mouvement à l'aide de caméras positionnées

stratégiquement. Les trajectoires des marqueurs sont ainsi reconstituées en trois dimensions. Les angles et les amplitudes de mouvement sont alors calculés de manière objective. Les principaux inconvénients de la MOCAP résident dans le coût élevé et la lourdeur du dispositif expérimental, qui limitent son utilisation à des analyses réalisées en laboratoire.

Figure 6 : Positionnement des marqueurs MOCAP et des IMUs sur le cheval (d'après Hatrisse *et al.*, 2023)



- *Analyse du mouvement par unités de mesure inertielle (IMUs)*

Plus récente, l'analyse du mouvement à l'aide d'unités de mesure inertielle (IMUs) repose sur l'utilisation d'accéléromètres tri-axiaux placés aux mêmes emplacements que les marqueurs utilisés pour la MOCAP (Greve *et al.*, 2017 ; Hatrisse *et al.*, 2023 ; MacKechnie-Guire et Pfau, 2021). Les données brutes issues des IMUs correspondent à des accélérations, qui sont intégrées deux fois pour obtenir la position des points dans l'espace tridimensionnel. À partir de ces positions, les angles et les amplitudes de mouvement sont calculés selon la même méthodologie que pour la MOCAP.

Plusieurs études ont montré une bonne concordance entre les données obtenues par MOCAP et celles issues des IMUs, sans biais proportionnel significatif (Bosch *et al.*, 2018 ; Hatrisse *et al.*, 2023). Toutefois, Hatrisse *et al.* (2023) ont mis en évidence un biais constant de $0,76^\circ$ (intervalle de confiance à 95 % : $0,46$ à $1,05^\circ$) entre les deux méthodes. Cette différence n'est donc pas gênante lorsque l'on s'intéresse à des évolutions.

En raison de leur faible coût, de leur facilité d'installation et de leur portabilité, les IMUs sont particulièrement adaptées à un suivi longitudinal sur plusieurs semaines. Ainsi, la méthode retenue dans le cadre de cette étude repose sur l'analyse inertielle, en suivant précisément le protocole décrit par Hatrisse *et al.* (2023).

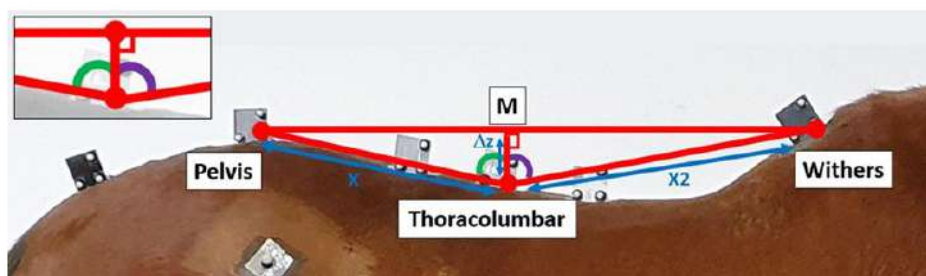
C. Choix de la méthode

En raison de leur faible coût, de leur facilité d'installation et de leur portabilité, les IMUs sont particulièrement adaptées à un suivi longitudinal sur plusieurs semaines. Ainsi, la méthode retenue dans le cadre de cette étude repose sur l'analyse inertielle.

Vu la conformation anatomique du cheval, la région présentant la plus grande mobilité dorsale est la jonction thoraco-lombaire, située entre la 18^e vertèbre thoracique (T18) et la première vertèbre lombaire (L1) (Back et Clayton, 2013). L'évaluation de la mobilité dorsale a donc été centrée sur l'amplitude de mouvement en flexion/extension de l'angle T18 (figure 7). Les positions des IMUs sont entourées en rouge sur la figure 6.

La méthode de mesure et de calcul utilisée pour quantifier cette amplitude est celle décrite par Hatrisse (2024).

Figure 7 : Obtention de l'angle thoraco-lombaire à partir des positions des capteurs IMUs placés sur le garrot, la croupe et T18 (d'après Hatrisse *et al.*, 2023)



Deuxième partie : Etude expérimentale

La soumission de l'article scientifique rédigé dans le cadre de cette thèse s'inscrit dans une démarche de valorisation des résultats du projet CAPT-ESE tout en répondant également à une volonté de diffusion des connaissances auprès de la communauté scientifique vétérinaire et biomédicale.

Afin de toucher un lectorat le plus large possible, l'article a été rédigé en anglais. Le choix de la revue *Animals*, publiée en libre accès, s'est appuyé sur plusieurs critères : il s'agit d'une revue à comité de lecture, reconnue et indexée dans les principales bases de données internationales de référence, notamment PubMed. *Animals* couvre un large spectre de thématiques liées à la biologie, la médecine vétérinaire et la santé animale en général.

Le titre de l'article soumis est « **Group and individual changes in spinal mobility during a 12-week rehabilitation program including swimming in horses with axial musculoskeletal lesions** ». Il a été rédigé par Baptiste Péresse et les co-auteurs sont Claire Moiroud, Sandrine Hanne-Poujade, Chloé Hatrisse, Emeline De Azevedo, Sandrine Jacquet, Fabrice Audigié et Henry Chateau. Les auteurs sont affiliés à l'Unité ACAP3 de l'École Nationale Vétérinaire d'Alfort (Maisons-Alfort, France) ainsi qu'au Labcom LIM-ENVA, en partenariat avec le groupe LIM France (Nontron, France).

Cette partie suit le plan et l'organisation de l'article tel qu'il a été soumis à la revue *Animals*.

1. Simple Summary

Back pain and spinal disorders often impair performance and lead to early retirement in sport horses. Swimming is commonly included in rehabilitation programs because water supports body weight, reducing limb stress while preserving cardiovascular fitness and muscle activity. However, its effect on spinal mobility remains poorly quantified. This study involved sixteen sport horses diagnosed with cervical or thoracolumbar musculoskeletal lesions who completed a 12-week rehabilitation program including swimming sessions. To objectively assess spinal mobility changes, inertial motion sensors were placed along the spine, and weekly measurements were taken while horses trotted in a straight line on a hard surface. Horses with cervical lesions showed greater back flexion-extension than those with thoracolumbar lesions. When analysed as a group, swimming induced minimal evolutions in spinal mobility. However, individual responses were variable, with some horses showing increased mobility and others decreased. These findings suggest that swimming does not have a uniform biomechanical effect. Individual monitoring during straight-line trot assessments could help veterinarians and trainers better tailor aquatic rehabilitation programs to optimize recovery.

2. Abstract

Locomotor disorders involving the spine are a major cause of impaired performance and early retirement in sport horses. Swimming is increasingly incorporated into rehabilitation protocols, but its effects on spinal biomechanics remain poorly understood. This prospective study aimed to evaluate changes in thoracolumbar mobility in horses diagnosed with cervical or thoracolumbar axial musculoskeletal lesions during a structured aquatic training program. Sixteen sport horses

completed a 12-week protocol consisting of 4 weeks of land-based training followed by 8 weeks of swimming sessions. Weekly objective measurements of thoracolumbar flexion-extension range of motion were performed during straight-line trot on a hard surface using inertial measurement units attached to the withers, T18, and *Tubera Sacrale*. Horses with cervical lesions consistently exhibited greater spinal mobility than those with thoracolumbar lesions. Group-level analyses revealed minimal overall changes in spinal mobility across training phases, while individual responses varied more visibly, with both increases and decreases observed. These results indicate that swimming does not produce consistent changes in thoracolumbar kinematics. This study provides the first longitudinal, sensor-based evaluation of swimming effects on equine spinal biomechanics, underlining the heterogeneous responses among horses and the necessity of personalized rehabilitation approaches.

3. Keywords

Aquatic training; Axial disorders; Back pain; Equine rehabilitation; Inertial measurement units; Swimming; Spinal mobility; Thoracolumbar kinematics

4. Introduction

Locomotor disorders, along with suboptimal performance, are the leading causes of premature retirement in race and sport horses (Lam *et al.*, 2007; Munsters *et al.*, 2013; Shrestha *et al.*, 2021). Their management requires an accurate diagnosis (Kaneps, 2016) and the implementation of tailored therapeutic strategies aimed at promoting rapid recovery and return to prior performance levels (Atalaia *et al.*, 2021).

Despite requiring specific infrastructure, equine swimming pools have seen widespread adoption since the 1970s (Irwin and Howell, 1980; Murakami *et al.*, 1976; Santosuosso *et al.*, 2021; Young, 2022; Gaulmin *et al.*, 2025). The physical properties of water offer several therapeutic benefits. Buoyancy reduces axial loading on the limbs, and the movements performed during swimming can increase joint excursions, with most joints exhibiting a greater range of motion during swimming than in trot (Giraudet *et al.*, 2023). Aquatic exercise is therefore considered a way to maintain training while minimizing joint and soft tissue stress, thereby facilitating an earlier return to activity (King, 2016). Water resistance promotes muscle recruitment and enhances neuromuscular control (King, 2016; Tokuriki *et al.*, 1999), while also stimulating the cardiorespiratory system (Porter, 2005) and improving venous and lymphatic return (Kamioka *et al.*, 2010). As such, swimming is now widely incorporated into musculoskeletal rehabilitation (Muñoz *et al.*, 2019; Porter, 2005) and conditioning protocols (Klomp, 2014; Misumi *et al.*, 1994).

However, swimming requires horses to keep their heads above the waterline, which is believed to increase hyperextension of the cervical, thoracolumbar, and pelvic spinal regions (King, 2016). This biomechanical posture may contraindicate aquatic work in horses with axial pathologies, particularly of the cervical spine (King, 2016; Muñoz *et al.*, 2019).

Dorsal mobility can be assessed using clinical scoring systems (Coudry *et al.*, 2007; Maldonado *et al.*, 2022). Recent work has compared water treadmill, dry treadmill, and lunging exercise protocols over a 6-week rehabilitation period in horses with primary back pain. The study

reported increased mechanical nociceptive thresholds and enhanced lumbar muscle scores but highlighted the absence of objective kinematic analyses to complement these clinical assessments (Geiger *et al.*, 2025). Spinal mobility can be quantified through instrumented approaches such as optical motion capture (MOCAP) with skin markers (Egenvall *et al.*, 2023; Hardeman *et al.*, 2020) or inertial measurement units (IMUs) (Hatrissse *et al.*, 2023; MacKechnie-Guire and Pfau, 2021). Several studies have demonstrated agreement between MOCAP and IMU measurements, without proportional bias (Bosch *et al.*, 2018; Hatrissse *et al.*, 2023). Given their ease of use in the field, IMUs are particularly suitable for longitudinal monitoring. In this study, we adopted the IMU-based methodology developed by Hatrissse *et al.* (2023).

To date, no study has specifically evaluated the effect of swimming exercise on dorsal mobility in horses with axial disorders. Therefore, the present work aimed to characterize the evolution of thoracolumbar mobility, measured during straight-line trot, in horses diagnosed with at least one axial disorder and enrolled in a standardized training program including swimming sessions. The primary objective was to assess changes in thoracolumbar mobility over time and investigate whether these changes differ depending on lesion location.

This study addressed two main research questions:

(1) Does thoracolumbar mobility at the trot significantly change in horses with axial disorders during a swimming-based training program?

(2) Does this change differ depending on whether the lesion is located in the cervical or thoracolumbar region?

We hypothesized that thoracolumbar mobility would change minimally after the two-month aquatic phase compared with the preceding land-training phase in horses with axial musculoskeletal lesions.

5. Materials and Methods

A. Animals Included in the Study

This prospective study was conducted at CIRALE – Locomotor Pathology Unit of the Equine Veterinary Teaching Hospital at the National Veterinary School of Alfort (EnvA), starting in December 2022. Seventeen horses aged between 5 and 14 years (mean age \pm standard deviation *SD*: 9.5 \pm 2.6 years) were initially enrolled. All horses had been regularly trained for show jumping or eventing for at least a year before admission. While some were actively competing, others followed structured jumping work as part of their routine, despite not participating in official competitions. The sample consisted of 12 geldings and 5 mares. All horses had a documented history of work-related difficulties or poor performance attributed to back or neck pain.

The primary inclusion criterion was the presence of radiographic abnormalities affecting the cervical and/or thoracolumbar spine. Horses with isolated sacroiliac lesions without concurrent cervical or thoracolumbar involvement, or those with limb-related locomotor disorders, were not included, as well as horses that failed to tolerate pool work after a 3 to 4 sessions acclimatization period. Horses were excluded in case of appearance of clinical abnormalities justifying a significant adaptation of the training protocol and/or an anti-inflammatory treatment of more than 5 days. One horse was excluded due to myositis and skin lesions, resulting in a final cohort of 16 horses. Prior to

the procedure, the protocol was examined and approved by the dedicated clinical research ethics committee (Comité d’Ethique en Recherche Clinique, ENVA, N° 2022-09-19).

B. Grouping Based on Lesion Location

The 16 horses were assigned to two groups according to the predominant region of axial involvement on diagnostic imaging, following the classification of Audigié *et al.* (2013) (table 2).

The cervical group included four horses exhibiting radiographic abnormalities primarily affecting the caudal cervical vertebrae (beyond C5), all with signs of osteoarthritis changes of the articular processes-synovial intervertebral joints (AP-SIVJ). Three of these horses also showed evidence of intervertebral disc degeneration at the same sites (vertebral symphysis abnormalities).

The thoracolumbar group consisted of twelve horses with predominant thoracic and/or thoracolumbar and/or lumbo-sacral abnormalities of different grades of severity (mild to severe). Imaging findings were: osteoarthritic changes of the articular processes-synovial intervertebral joints (AP-SIVJ) (9 horses), impingement of the dorsal spinous processes (7 horses), abnormalities of the curvature of the vertebral axis (lordosis, kiphosis, scoliosis) (3 horses), middle thoracic ventral spondylosis (2 horses), lesion of the lumbo-sacral symphysis (lumbo-sacral intervertebral disc degeneration in one horse), vertebral body dysplasia (one horse).

Table 2 : Distribution of horses included in the study and associated lesions. SF: French warmblood; PFS: French pony; Z: Zangersheide; SJ: show jumping; OA: osteoarthritis; AP-SIVJ: articular processes-synovial intervertebral joints; DSP: dorsal spinal process; C: cervical vertebra; T: thoracic vertebra; R: rib; L: lumbar vertebra.

Horse	Sex	Breed	Discipline	Age (y)	Main Lesions (Location)
Cervical Group (n=4)					
#02	Mare	SF	SJ	14	OA AP-SIVJ (C5-T1)
#06	Gelding	SF	Eventing	10	Vertebral symphysis abnormality (C6-C7), OA AP-SIVJ (C6-T1), R1 hypogenesis
#14	Gelding	SF	SJ	9	OA AP-SIVJ (C6-C7), vertebral symphysis abnormality (C6-T1)
#19	Gelding	SF	SJ	5	OA AP-SIVJ (C6-C7), vertebral symphysis abnormality (C6-C7)
Thoracolumbar Group (n=12)					
#01	Mare	SF	SJ	11	OA AP-SIVJ (T15-T16), DSP impingement (T13-T14, T16-T17)
#03	Gelding	PFS	SJ	12	OA AP-SIVJ (T15-T16, T18-L1>L1-L4), DSP impingement (T15-T18)
#09	Gelding	SF	SJ	11	Vertebral body dysplasia (T9-T10 cuneiformis vertebrae), curvature abnormality (thoracic lordosis), DSP impingement (T12-T16)
#11	Gelding	SF	SJ	13	OA AP-SIVJ (T14-T18), DSP impingement (T13-T17)
#12	Gelding	SF	SJ	11	DSP impingement (T13-T18), OA AP-SIVJ (T14-T17)
#13	Gelding	SF	SJ	10	OA AP-SIVJ (L1-L3)
#15	Mare	SF	SJ	8	OA AP-SIVJ (T18-L2), curvature abnormality (lumbar kyphosis + scoliosis)
#17	Gelding	SF	SJ	9	Vertebral symphysis abnormality (L6-S1)
#18	Gelding	SF	SJ	5	Curvature abnormality (thoracolumbar lordo-kyphosis + lumbar scoliosis), OA AP-SIVJ (T15-T18)
#20	Gelding	SF	SJ	5	OA AP-SIVJ (T15-L2), DSP impingement (T18-L1)
#21	Mare	SF	SJ	8	Ventral spondylosis (T12-T13), DSP impingement (T14-L2), OA AP-SIVJ (T15-T16)
#23	Mare	Z	SJ	9	Ventral spondylosis (T11-T12)

C. Training Protocol

All included horses followed a standardized two-phase training protocol designed to ensure controlled progression and enable longitudinal monitoring of changes in thoracolumbar mobility under consistent training conditions. Throughout the entire protocol, horses were daily in a

mechanical walker for 30 to 45 minutes each morning and spent a few hours each day in a small paddock.

Phase 1, referred to as the *land training (LT) phase*, lasted four weeks and consisted exclusively of land-based ridden work. It aimed to help horses acclimate to their new environment and riders. Two riders were responsible for the entire group, and all horses followed the same weekly schedule in terms of exercise type (flatwork, gymnastic-cavaletti, jumping, gallop on a track, and lunge work). The intensity of each session (duration, speed, fence height) was adapted to the individual horse's level, based on its usual workload prior to admission. For horses with reduced training before inclusion, intensity was progressively increased over the first two weeks. From week 3 onwards, training intensity was maintained at a consistent level for all horses until the end of the protocol. All ridden sessions began with a standardized warmup consisting of 15 minutes of walk followed by 4 minutes of gallop, prior to 25-30 minutes of work. This phase also served to establish baseline measurements of thoracolumbar mobility for each horse.

Phase 2, referred to as the *aquatic training (AT) phase*, spanned the following eight weeks. During this phase, swimming sessions were progressively incorporated into the training routine. Three ridden sessions per week were replaced by three swimming sessions (table 3).

Table 3 : Weekly training schedules during Phase 1 (Land training) and Phase 2 (Aquatic training). "Jumping": ridden session focused on jumping exercises, including the sequence of a show jumping course; "Gymnastic-cavaletti": mixed session combining flatwork and gymnastic exercises over cavaletti (<50 cm); "Rest day": Sunday dedicated to light exercise only, consisting of walking in a mechanical walker (no ridden work).

Day	Phase 1 – Land training (4 weeks)	Phase 2 – Aquatic training (8 weeks)
Monday	Flatwork + Walker	Swimming + Walker
Tuesday	Gymnastic-Cavaletti + Walker	Gymnastic-Cavaletti + Walker
Wednesday	Gallop + Walker	Swimming + Walker
Thursday	Jumping + Walker	Jumping + Walker
Friday	Flatwork + Walker	Swimming + Walker
Saturday	Lunge work + Walker	Lunge work + Walker
Sunday	Rest day + Walker	Rest day + Walker

Phase 2 was divided into two sub-periods of four weeks each: *Aquatic training 1 (AT1)* and *Aquatic training 2 (AT2)*. This subdivision enabled a more detailed temporal analysis of the variables of interest, as swimming distances were progressively increased throughout AT2 (table 4).

Table 4 : Distance swum per session (in meters) during aquatic training phase 1 (weeks 5–8) and phase 2 (weeks 9-12). Swimming sessions were held on Mondays, Wednesdays, and Fridays each week. In week 12, no swimming session was performed on Friday (-), as horses underwent the final scintigraphic examination.

Phase	Week	Distance on Monday (m)	Distance on Wednesday (m)	Distance on Friday (m)	Total weekly distance (m)
Aquatic training 1	W5	240	330	330	900
	W6	440	440	440	1320
	W7	605	550	715	1870
	W8	605	660	770	2035
Aquatic training 2	W9	660	605	770	2035
	W10	770	660	935	2365
	W11	770	660	935	2365
	W12	770	605	X	1375

D. Data Acquisition

The range of motion (ROM) at the thoraco-lumbar junction was used as the primary indicator of dorsal mobility in this study (T18 angle). The method used to assess this ROM followed the protocol described by Hattrisse *et al.* (2023), involving straight-line trot recordings over 50 meters on a hard surface using inertial measurement units (IMUs). Measurements were performed at the end of each week, once per week, throughout the 12-week study period.

Three synchronized IMUs (Blue Trident®, Vicon Motion Systems Ltd., UK) were mounted at the withers, T18, and the sacrum (*tuber sacrale*). Each sensor recorded data at 225 Hz, with a measurement range of ± 16 g, a maximum angular velocity of $2000^\circ/\text{s}$, and 16-bit resolution.

The T18 angle was computed from IMU signals using Matlab (R2021b, The MathWorks Inc., Natick, MA, USA). This angle exhibited two flexion and two extension peaks per stride. From this waveform, the mean flexion and extension amplitudes and the overall stride-to-stride range of motion (ROM) were extracted. The latter parameter is hereafter referred to as the mean T18 flexion-extension amplitude.

E. Statistical Analysis

a. Comparison of dorsal mobility between thoracolumbar and cervical groups

To assess differences in mean T18 flexion-extension amplitude between the thoracolumbar and cervical groups, independent (unpaired) Student's t-tests were conducted for each training phase. The assumption of normality was evaluated using Q–Q plots, and homogeneity of variances was verified with Levene's test.

b. Evolution of dorsal mobility at group and individual levels

To assess changes in mean T18 flexion-extension amplitude, a linear mixed-effects model (LME) was fitted separately for the cervical and thoracolumbar groups. The dependent variable was the

mean T18 flexion-extension amplitude per stride, recorded during straight-line trot. Fixed effects included training phase (LT, AT1, AT2) and week (as a continuous variable from 1 to 4 at each phase). Random effects were hierarchically structured to account for both inter- and intra-individual variability: *Horse* was included as a random intercept, with *Stride* nested within *Horse* to account for repeated measurements.

Model assumptions were verified through visual inspection of residual plots: normality was assessed using Q-Q plots, and homoscedasticity was verified through standardized residual analysis. To further explore within-subject patterns, a second set of LMEs was built for each individual horse, using the same fixed effects but including only *Stride* as a random effect.

Differences in mean T18 flexion-extension amplitude between training phases (main effect) were tested using analysis of variance (“type III” ANOVA). When the main effect was statistically significant ($p < 0.05$), pairwise comparisons were conducted using Tukey-Kramer *post hoc* tests (Jaccard *et al.*, 1984). Effect sizes (Cohen’s $|d|$) were calculated to evaluate the clinical relevance of observed differences, based on conventional thresholds (Cohen, 1992) : $d < 0.2$ (negligible), $0.2 \leq d \leq 0.5$ (small), $0.5 \leq d \leq 0.8$ (medium), $d > 0.8$ (large).

All statistical analyses were performed using R software version 4.4.2 (R Core Team, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria), including the stats (R Core Team, 2024) and *lmerTest* packages (Kuznetsova *et al.*, 2017).

6. Results

A. Descriptive results

A total of 5763 strides were recorded from the 16 horses included in the study. Six locomotion examinations were excluded from analysis due to acquisition failures: two for horse #02 (week 5 and week 12), two for horse #19 (week 3 and week 9), and one each for horses #13 (week 4) and #14 (week 11). All exclusions were made prior to statistical processing to ensure consistency and validity of the dataset.

On average, each locomotion examination yielded 15.8 ± 9.2 strides for horses in the cervical group and 16.7 ± 9.8 strides for those in the thoracolumbar group.

Across all three training phases, mean T18 flexion-extension amplitude was consistently approximately one degree higher in horses with cervical lesions compared to those with thoracolumbar lesions (table 5). Individual mean T18 flexion-extension amplitudes ranged from $3.7 \pm 0.4^\circ$ to $5.3 \pm 0.7^\circ$ in the cervical group, whereas in the thoracolumbar group they ranged from $2.2 \pm 0.5^\circ$ to $4.4 \pm 1.0^\circ$, independently of the training phase. The corresponding individual evolutions over time are shown in Appendix A, Figures A1 and A2.

Table 5 : Individual and group mean (\pm SD) of T18 flexion-extension amplitude angle ($^{\circ}$) across the three training phases for horses with cervical and thoracolumbar lesions. The phases are: land training (LT), aquatic training 1 (AT1) and aquatic training 2 (AT2) .

Horse ID	Phase		
	LT	AT1	AT2
Cervical Group (n=4)			
#02	4.5 \pm 0.7	4.1 \pm 0.5	4.2 \pm 0.7
#06	3.7 \pm 0.4	4.0 \pm 0.4	3.8 \pm 0.6
#14	5.0 \pm 0.9	5.2 \pm 0.5	5.3 \pm 0.7
#19	4.5 \pm 0.7	4.2 \pm 1.1	4.0 \pm 0.6
Mean	4.4 \pm 0.8	4.4 \pm 0.9	4.3 \pm 0.8
Thoracolumbar Group (n=12)			
#01	3.5 \pm 0.4	2.6 \pm 0.5	3.0 \pm 0.3
#03	3.0 \pm 1.0	3.2 \pm 0.5	3.1 \pm 0.9
#09	3.2 \pm 0.5	4.0 \pm 0.4	3.6 \pm 0.5
#11	3.6 \pm 0.5	3.6 \pm 0.6	3.7 \pm 0.6
#12	3.9 \pm 0.6	4.1 \pm 0.5	3.9 \pm 0.5
#13	3.4 \pm 0.5	3.3 \pm 0.4	3.4 \pm 0.8
#15	3.5 \pm 0.5	3.7 \pm 0.4	3.8 \pm 0.5
#17	3.9 \pm 0.6	4.1 \pm 0.6	3.2 \pm 0.7
#18	2.5 \pm 0.6	2.2 \pm 0.5	2.3 \pm 0.7
#20	4.4 \pm 1.0	4.4 \pm 0.8	3.4 \pm 0.6
#21	2.2 \pm 0.6	2.4 \pm 0.5	2.5 \pm 0.9
#23	3.5 \pm 0.5	3.5 \pm 0.6	3.4 \pm 0.6
Mean	3.4 \pm 0.9	3.4 \pm 0.8	3.3 \pm 0.8

B. Between-group comparison by lesion location

Student's *t*-tests revealed significant differences between lesion groups in all three phases (table 6). The mean T18 flexion–extension amplitude was consistently higher in the cervical group than in the thoracolumbar group (LT: +1.0 [0.9–1.1] $^{\circ}$, $p < 0.001$; AT1: +1.0 [0.8–1.0] $^{\circ}$, $p < 0.001$; AT2: +1.0 [0.9–1.1] $^{\circ}$, $p < 0.001$).

Table 6 : Results of Student's t-tests comparing the mean T18 flexion-extension amplitude (°) between cervical and thoracolumbar groups across the three training phases: land training (LT), aquatic training 1 (AT1), aquatic training 2 (AT2). Values represent group means (\pm SD) and between-group differences with 95% confidence intervals (CI).

Phase	Mean T18 flexion-extension amplitude (°) Cervical Group	Mean T18 flexion-extension amplitude (°) Thoracolumbar Group	p-value	Between-group differences with Mean group difference [95% CI]
LT	4.4 \pm 0.8	3.4 \pm 0.9	<.001	1.0 [0.9;1.1]
AT1	4.4 \pm 0.9	3.4 \pm 0.8	<.001	1.0 [0.8;1.0]
AT2	4.3 \pm 0.8	3.3 \pm 0.8	<.001	1.0 [0.9;1.1]

C. Within-group evolution

Results of the LME analyses are summarized in table 7. In the cervical group ($n = 4$ horses, 1271 strides), no significant variation was observed across the three training phases ($p = 0.675$). Conversely, the thoracolumbar group ($n = 12$ horses, 4492 strides) showed a significant main effect of training phase (type III ANOVA: $p < 0.001$). *Post-hoc* Tukey-Kramer tests revealed no significant difference in T18 flexion-extension amplitude between LT and AT1 phases but a small yet significant decrease between AT2 and LT (-0.1° , 95% CI: $[-0.2; -0.1]$, $p < 0.001$) and between AT2 and AT1 (-0.2° $[-0.2; -0.1]$, $p < 0.001$). However, the corresponding Cohen's d values (0.1 and 0.2 respectively) indicated negligible and small effect sizes according to conventional thresholds.

a. Individual results for horses with cervical lesions

As shown in table 7, individual type III ANOVA results for all horses in the cervical group indicated significant differences between training phases ($p < 0.05$), suggesting at least one statistically meaningful variation per horse. Tukey-Kramer *post-hoc* analyses revealed that two horses (#02 and #19) exhibited significant decreases in amplitude during the AT2 phase compared to the LT phase. The absolute reductions were -0.2° and -0.8° , corresponding to relative decreases of 5% and 18%, respectively. Effect sizes were small for horse #02 ($d = 0.3$) and medium for horse #19 ($d = 0.8$). For horse #02, a significant decrease (-0.3°) was also observed between the LT and AT1 phases. In horse #19, decreases were significant between both LT and AT1 (-0.4°) and AT2 and AT1 (-0.4°).

One horse (#14) exhibited a significant increase in amplitude during AT2 compared to LT ($+0.4^\circ$, + 8%), corresponding to a small effect size ($d = 0.4$). For this horse, a small increase was also observed between AT1 and LT ($+0.2^\circ$).

The remaining horse (#06) showed no significant difference between AT2 and LT but a transient increase between AT1 and LT ($+0.3^\circ$) followed by a decrease between AT2 and AT1 (-0.2°).

Table 7 : Results of linear mixed effect models (type III ANOVA) and post-hoc Tukey-Kramer (TK) tests) assessing changes in T18 flexion-extension amplitude (°) across the three training phases for each horse and globally for each group. Mean differences (Δ) between phases are expressed in degrees (°), together with percentage of change (% evol), associated TK p -values and Cohen's d effect sizes (C's d). Comparisons include: AT1 – LT (change from land training to aquatic training 1); AT2 - AT1 (change from aquatic training 1 to aquatic training 2); AT2 – LT (change from land training to aquatic training 2). Effect sizes are omitted (-) when non-significant or when variance was insufficient for calculation.

Horse	Δ AT1 - LT (°)				Δ AT2 - AT1 (°)			Δ AT2 - LT (°)		
	Type III ANOVA	Estimate (°) (% evol)	TK	C's d	Estimate (°) (% evol)	TK	C's d	Estimate (°) (% evol)	TK	C's d
Cervical group (n=4)										
#02	<.001	-0.3 (-7%)	<.001	0.5	0,1 (2%)	.828	-	-0.2 (-4%)	.006	0.3
#06	<.001	0.3 (8%)	<.001	0.8	-0.2 (-5%)	.003	0.4	0.1 (3%)	.076	-
#14	.001	0.2 (4%)	.031	0.3	0.1 (2%)	.406	-	0.4 (8%)	.001	0.4
#19	<.001	-0.4 (-9%)	.001	0.4	-0.4 (-10%)	.004	0.2	-0.8 (-18%)	<.001	0.8
Mean	.675	0 (0%)	-	-	0 (0%)	-	-	-0.1 (-2%)	-	-
Thoracolumbar group (n=12)										
#01	<.001	-0.9 (-26%)	<.001	1.9	0.3 (12%)	<.001	0.8	-0.5 (-14%)	<.001	1.4
#03	.111	0.2 (+7%)	-	-	-0.1 (-3%)	-	-	0.1 (+3%)	-	-
#09	<.001	0.8 (25%)	<.001	1.8	-0.4 (-10%)	<.001	1	0.4 (13%)	<.001	0.8
#11	.482	0 (0%)	-	-	0.1 (3%)	-	-	0.1 (3%)	-	-
#12	.042	0.1 (3%)	.060	-	-0.1 (-2%)	.057	-	0 (0%)	1	-
#13	.381	-0.1 (-3%)	-	-	0.1 (3%)	-	-	0 (0%)	-	-
#15	<.001	0.2 (6%)	<.001	0.5	0.1 (3%)	.158	-	0.3 (9%)	<.001	0.6
#17	<.001	0.2 (5%)	.025	0.3	-0.9 (-22%)	<.001	1.4	-0.7 (-18%)	<.001	1.1
#18	<.001	-0.3 (-12%)	<.001	0.5	0.0 (0%)	.846	-	-0.2 (-8%)	.003	0.4
#20	<.001	0.0 (0%)	.923	-	-0.9 (-20%)	<.001	1.2	-0.9 (-20%)	<.001	1.1
#21	.001	0.1 (5%)	.203	-	0.1 (4%)	.139	-	0.3 (14%)	<.001	0.4
#23	.111	-0.1 (-3%)	-	-	0 (0%)	-	-	-0.1 (-3%)	-	-
Mean	<.001	0 (0%)	.299	-	-0.2 (-6%)	<.001	0.2	-0.1 (-3%)	<.001	0.1

b. Individual results for horses with thoracolumbar lesions

As shown in table 7, the individual type III ANOVA results for horses in the thoracolumbar group indicated that four horses (#03, #11, #13 and #23) did not exhibit any significant change in mean T18 flexion-extension amplitude over the 12-week period ($p = 0.111, 0.482, 0.381$ and 0.111 , respectively). In contrast, eight horses showed significant differences across training phases (main effect, $p < 0.05$), indicating that at least one phase differed from the others.

Tukey-Kramer post-hoc analyses revealed that half of these eight horses (#01, #17, #18 and #20) showed a significant decrease in amplitude during the AT2 phase compared to the LT phase. The absolute reduction ranged from -0.2° to -0.9° , corresponding to a relative decrease of 8% to 20% compared with LT. In terms of effect size, horse #18 demonstrated a small effect ($d = 0.4$), whereas the other three displayed larger effects ($d > 0.8$). For horses #01 and #18, a significant decrease was also observed between the AT1 and LT phases (-0.9° and -0.3° , respectively), while for horses #17 and #20, it occurred between the AT2 and AT1 phases (both of -0.9°).

Three horses (#09, #15 and #21) exhibited significant increases in amplitude during the AT2 phase compared with LT. The absolute changes ranged from +0.3° to +0.4°, corresponding to relative increases of 9% to 14%. Horse #21 displayed a small effect size ($d < 0.5$), while horses #09 and #15 showed medium effects ($0.5 \leq d \leq 0.8$). For horses #09 and #15, increases were also significant between the AT1 and LT phases (+0.8° and +0.2° respectively). No horse demonstrated a consistent increase across all three phases.

Finally, among the eight horses showing significant differences across phases, one (#12) did not exhibit a statistically significant difference between AT2 and LT.

7. Discussion

This study provides the first longitudinal, sensor-based quantification of thoracolumbar mobility in horses with axial musculoskeletal lesions undergoing a standardized rehabilitation program that included swimming. The main findings were (1) consistently greater thoracolumbar motion in horses with cervical lesions compared with those with thoracolumbar lesions, and (2) limited group-level changes over the 12-week program despite marked inter-individual variability in mobility trajectories

A. Group-level findings and biomechanical interpretation

Horses with cervical lesions systematically exhibited greater T18 flexion–extension amplitudes than horses with thoracolumbar lesions across all training phases. This observation is consistent with previous kinematic studies suggesting that spinal motion is influenced by both lesion location and compensatory mechanisms. Increased thoracolumbar mobility in horses with cervical dysfunction may represent a compensatory adaptation of the trunk to altered head–neck posture, as proposed by Gómez Álvarez et al. (2006) and Rhodin et al. (2005).

The absolute amplitude values measured in this study align with those reported by Hatrisse et al. (2023) in sound horses (approximately 4°–5°). Horses with thoracolumbar lesions generally remained below these reference ranges, even after aquatic training. This suggests that reduced thoracolumbar motion could be a sensitive indicator of axial stiffness or discomfort, reinforcing the clinical relevance of objective mobility assessment during locomotor evaluations. In contrast, horses with cervical lesions displayed thoracolumbar motion values comparable to those observed in sound horses, suggesting that cervical dysfunction may not necessarily alter thoracolumbar kinematics during straight-line trot. Clinically, this implies that a horse with cervical pathology could appear normal in terms of thoracolumbar motion. Conversely, a reduced range of thoracolumbar flexion–extension may be interpreted as an indicator of stiffness or discomfort related to dorsal lesions, supporting the clinical classification of “dorsalgic” horses based on reduced spinal mobility. This reinforces the value of objective mobility assessment as a complement to clinical evaluation during locomotor examinations.

B. Within-group evolution and temporal patterns

When examined within groups, only the thoracolumbar group exhibited a significant phase effect, characterized by a transient increase in thoracolumbar mobility during the first four weeks of aquatic training (AT1), followed by a slight but significant decrease in the second month (AT2). Although statistically significant, the effect sizes were small, indicating limited clinical relevance at the population level.

Such a biphasic pattern has not previously been described in horses but may resemble adaptive responses reported in human aquatic rehabilitation, where initial neuromuscular stimulation induced by water resistance is followed by stabilization once adaptation occurs (Bressel *et al.*, 2014). In horses, the subsequent decrease in amplitude observed during AT2 may reflect either enhanced trunk stability or a reduction in compensatory movement once neuromuscular control improves. These interpretations, however, remain speculative and warrant further investigation.

C. Individual variability and clinical relevance

Beyond group averages, individual trajectories revealed a high degree of heterogeneity. Among horses with cervical lesions, all four showed significant changes across training phases, though not consistently in the same direction. Within the thoracolumbar group, eight out of twelve horses exhibited significant phase-related differences, but the direction and magnitude of these changes varied markedly between individuals. Some horses displayed increased mobility while others showed reductions, with absolute amplitude changes rarely exceeding 1° and relative variations ranging from -15 % to +12 %. This variability underscores the complexity of biomechanical and neuromuscular responses to aquatic work, even under standardized conditions, and was likely influenced by the heterogeneity of lesion types, anatomical locations, and chronicity among horses.

Such inter-individual differences may arise from multiple interacting factors, including the initial severity of the axial dysfunction, baseline muscular condition, or differences in proprioceptive control. From a clinical perspective, these findings emphasize that aquatic training should not be considered a uniformly beneficial intervention but rather one that requires individualized monitoring. Objective, longitudinal kinematic assessments (such as those derived from IMU data) offer a valuable means of quantifying spinal motion over time, allowing clinicians to identify responders, adjust workload intensity, and tailor rehabilitation protocols to each horse's specific functional profile.

D. Methodological considerations

Several methodological limitations must be acknowledged. First, the relatively small sample size, particularly in the cervical group, limits the statistical power and generalizability of these findings. The absence of a non-swimming control group also prevents definitive attribution of observed changes to aquatic exercise alone. Moreover, mobility was assessed only during straight-line trot on a hard surface, which may not fully capture spinal dynamics during canter, ridden work or on curved paths.

From a technical standpoint, the kinematic analysis was restricted to a single angular descriptor (T18 angle), providing a unidimensional view of dorsal motion and excluding lateral bending and axial rotation. While this parameter has proven repeatable and biomechanically meaningful (Hatrissé *et al.*, 2023), it represents only a global measure of thoracolumbar mobility and does not account for regional variations. Measurement accuracy is also limited by IMU resolution, potential sensor misalignment, and soft-tissue artefacts. The effective angular resolution of the system, estimated between 0.2° and 0.5°, implies that subtle variations may fall below the detection threshold, particularly when inter-session variability is high. Furthermore, IMUs record relative angular displacement but cannot distinguish between active neuromuscular control and passive mechanical motion.

These constraints highlight the importance of interpreting small amplitude changes with caution and suggest that future work should combine IMU-based kinematics with complementary methods such as electromyography (EMG), muscle ultrasound, or multi-segmental motion capture.

E. Clinical implications and future directions

Although all horses remained clinically stable and did not receive concurrent treatment during the study, it remains possible that spontaneous healing or subclinical lesion progression influenced spinal motion. Moreover, clinical expression may vary even in the absence of structural lesion progression, with for example, due to muscular pain or contractures, or fluctuations in the inflammatory activity of the lesion. Repeated imaging sessions, including radiography, ultrasonography, and scintigraphy, were scheduled as part of the broader study protocol. These were complemented by qualitative clinical evaluations, including static examinations (spinal mobility, vertebral and muscular sensitivity and muscular condition) and dynamic assessments based on clinical scoring during locomotion. A dedicated analysis of these data is currently underway and will help clarify the relationship between lesion dynamics and kinematic changes.

From a clinical standpoint, these results suggest that swimming, when incorporated into a structured rehabilitation program, does not induce substantial changes in thoracolumbar mobility at the group level. However, the observed individual variability, characterized by both increases and decreases in motion, emphasizes the need for personalized monitoring. Routine use of objective gait analysis, including spinal kinematics, may assist clinicians in identifying responders and tailoring the intensity, frequency, or duration of training accordingly.

While Geiger et al. (2025) demonstrated clinical improvements in horses undergoing unridden rehabilitation, their assessment relied solely on scoring systems and pressure algometry. Our study, by contrast, focused on objective, sensor-based quantification of spinal motion. Although the rehabilitation protocols are not directly comparable, the inclusion of inertial kinematic measurements in our work provides complementary insight into functional spinal dynamics, enabling a more detailed and individualized evaluation of rehabilitation outcomes.

The medium to large effect sizes observed in some individuals highlight that spinal motion parameters may be sensitive biomarkers of functional response, even when absolute differences are small. Whether these changes translate into improved performance, comfort, or long-term musculoskeletal outcomes remains to be determined.

Future studies should explore whether baseline spinal flexibility, lesion chronicity, or neuromuscular asymmetries can predict responsiveness to aquatic training. Integrating surface EMG or muscle ultrasound could also help clarify the relationship between observed kinematic changes and underlying muscular adaptations.

8. Conclusion

This study investigated the evolution of thoracolumbar mobility at the trot in horses with axial musculoskeletal lesions undergoing a 12-week structured training program that included swimming. Group-level differences in flexion-extension amplitude at T18 were statistically significant between cervical and thoracolumbar lesion groups. Within-group analyses revealed a transient increase in thoracolumbar mobility after four weeks of aquatic training in the thoracolumbar group, followed by a decrease in the second month. No significant change was observed over time in the cervical group.

However, individual-level analyses highlighted considerable variability, with some horses showing medium to large changes, either increases or decreases, regardless of lesion location.

These findings suggest that spinal mobility may respond in a heterogeneous manner to aquatic training, underscoring the importance of individualized follow-up during rehabilitation. While aquatic exercise appears safe and feasible in horses with axial lesions, its biomechanical effects on the spine remain variable and difficult to predict. Further studies integrating diagnostic imaging and neuromuscular assessments are needed to better characterize responders and optimize rehabilitation strategies.

Troisième partie : Discussion

Les éléments de discussion présentés ici font office de complément à ceux apportés dans l'article.

Cette thèse visait à évaluer l'évolution de la mobilité thoracolombaire chez des chevaux atteints d'affections de l'axe vertébral, dans le cadre d'un programme d'entraînement standardisé incluant des séances de piscine.

Pour cela, une méthode de mesure de l'angle de flexion-extension en T18 a été utilisée afin de faciliter le suivi longitudinal de l'ensemble des chevaux sur une période de 12 semaines.

1. Analyses inter-groupes

Concernant les comparaisons inter-groupes, les chevaux présentant des lésions cervicales ont montré une mobilité significativement plus élevée au niveau de T18 que ceux atteints de lésions thoracolombaires. Sur l'ensemble des 12 semaines, l'amplitude moyenne mesurée chez les chevaux présentant une dorsalgie était de $3,4^\circ$ (écart type = $0,8^\circ$), contre $4,3^\circ$ (écart type = $0,8^\circ$) chez les chevaux atteints de cervicalgie. Ces différences étaient statistiquement significatives dans les trois phases d'entraînement et peuvent être interprétées selon deux axes principaux.

D'une part, les amplitudes mesurées chez les chevaux cervicalgiques sont comparables à celles rapportées chez des chevaux sains par Hattrisse *et al.* (2023), qui ont relevé des amplitudes moyennes de $4,3^\circ \pm 1,6^\circ$ en flexion et de $4,2^\circ \pm 1,7^\circ$ en extension. Cette similarité suggère que, malgré leurs atteintes cervicales, ces chevaux conservent une mobilité thoracolombaire proche de la normale, en particulier au niveau de T18, qui était le seul site de mesure. L'absence de lésion thoracolombaire pourrait expliquer cette préservation fonctionnelle, rapprochant leur profil de celui des chevaux sains. Aucune variation significative de l'amplitude en T18 n'a été observée dans ce groupe au cours des différentes phases du protocole.

D'autre part, plusieurs études cinématiques antérieures ont montré que la mobilité vertébrale est influencée non seulement par la localisation des lésions, mais également par des mécanismes de compensation. Chez les chevaux atteints d'affections cervicales, l'augmentation de la mobilité thoracolombaire pourrait représenter une adaptation fonctionnelle visant à compenser une posture altérée de la tête et de l'encolure. Cette hypothèse s'inscrit dans le cadre de mécanismes compensatoires déjà décrits par Gómez Álvarez *et al.* (2006) et Rhodin *et al.* (2005).

À l'inverse, chez les chevaux atteints de dorsalgie, une raideur axiale est fréquemment rapportée en lien avec des atteintes ostéo-articulaires vertébrales (Audigie *et al.*, 2013 ; Back et Clayton, 2013), ce qui pourrait expliquer les amplitudes initialement plus faibles observées dans ce groupe.

2. Analyses intra-groupes

Sur le plan des comparaisons intra-groupes, une évolution significative de la mobilité en T18 a été observée uniquement chez les chevaux du groupe des dorsalgiques. Cette évolution se traduisait par une augmentation transitoire de l'amplitude au cours des quatre premières semaines d'entraînement aquatique, suivie d'une diminution lors du second mois. Cependant, la différence maximale d'amplitude entre les phases était de seulement $0,2^\circ$, soit une variation absolue de 3,6 % (entre la phase pré-piscine et la deuxième phase post-piscine). Les tailles d'effet associées restaient inférieures aux seuils habituellement considérés comme cliniquement significatifs, ce qui suggère

que l'impact global d'un entraînement aquatique de faible durée (2 mois) sur la mobilité spinale demeure limité à l'échelle du groupe des dorsalgiques.

3. Analyse individuelle et variabilité des réponses

Au-delà des moyennes de groupe, l'analyse individualisée a révélé des profils de réponse plus contrastés. Certaines tendances observées dans les statistiques descriptives suggèrent en effet des évolutions spécifiques à chaque cheval. Une approche centrée sur l'individu apparaît donc justifiée afin d'éviter que des effets potentiellement significatifs ne soient dilués dans les moyennes globales par groupe.

Dans le groupe des chevaux cervicalgiques, tous ont présenté au moins une évolution significative de la mobilité dorsale au cours des trois phases. Trois d'entre eux ont montré des variations significatives après 2 mois d'entraînement en piscine par rapport à la phase de travail terrestre mais ces variations n'allaient pas dans le même sens : deux chevaux présentaient une diminution et un une augmentation d'amplitude.

Chez les chevaux dorsalgiques, cinq sur douze n'ont pas montré d'évolution significative de la mobilité dorsale après 2 mois d'entraînement en piscine. Parmi les sept présentant une modification significative, quatre ont présenté une diminution moyenne de l'amplitude d'environ 15 %, tandis que trois ont montré une augmentation d'environ 12 % par rapport à la phase terrestre.

Dans l'ensemble de la population étudiée, six chevaux présentaient des tailles d'effet modérées à fortes, tandis que quatre autres affichaient de faibles tailles d'effet. Dans tous les cas, les variations absolues d'angle demeuraient inférieures à un degré.

4. Variabilité inter- et intra-individuelle

Ces observations soulignent la nécessité d'une attention particulière portée à la variabilité des mesures. L'étude de Hardeman *et al.* (2020), fondée sur dix répétitions de mesure par IMU chez 12 chevaux sur deux jours, a mis en évidence une variabilité inter-individuelle plus marquée que la variabilité intra-individuelle. Cette constatation a également été faite dans la présente étude. La forte hétérogénéité inter-individuelle renforce la pertinence d'analyses longitudinales centrées sur chaque cheval. En ce qui concerne la variabilité intra-cheval, Hardeman *et al.* (2020) ont rapporté un intervalle de prédiction moyen à 95 % de $\pm 0,8^\circ$ pour des mesures répétées dans des conditions identiques, soit une marge proche des variations maximales observées ici. Le degré de précision de ces mesures soulève donc nécessairement des questions sur leur signification clinique.

Par ailleurs, les trajectoires individuelles suivent des trajectoires très différentes entre les chevaux : certains chevaux ont montré une augmentation de la mobilité dorsale lors de la première phase d'entraînement aquatique avant de régresser par la suite, tandis que d'autres ont présenté une réponse retardée. Cette variabilité inter-individuelle des trajectoires d'évolution met en évidence l'absence d'un effet biomécanique uniforme de l'entraînement en piscine sur l'effectif de chevaux de cette étude et souligne, à ce stade, l'importance d'un suivi personnalisé des protocoles de rééducation. Ces constats soulèvent également la question du rôle prédictif de la mobilité axiale initiale ou du type de lésion sur la réponse postérieure à l'exercice en piscine. Cet axe de recherche reste à approfondir.

5. Réponses biphasées et interprétations

Une augmentation transitoire de la mobilité observée après quatre semaines de natation (AT1), suivie d'un retour aux valeurs initiales voire inférieures à la phase AT2 était visible chez quatre

chevaux parmi le groupe des 12 dorsalgiques. A ce jour, cet effet n'a jamais été documenté dans la littérature équine. Cependant, des réponses biphasées analogues ont été décrites en rééducation humaine, où un recrutement neuromusculaire initial sous l'effet de l'exercice aquatique est suivi d'une phase de stabilisation ou de plateau après adaptation (Bressel *et al.*, 2014). Chez le cheval, la diminution d'amplitude observée en phase AT2 pourrait également être interprétée comme un gain de stabilité du tronc ou une réduction des mouvements compensatoires, bien que cette hypothèse reste spéculative.

6. Caractère novateur et limites méthodologiques

À notre connaissance, il s'agit de la première étude à quantifier de manière longitudinale la mobilité thoracolombaire dans une cohorte de chevaux soumis à un protocole de rééducation contenant de la nage. Les travaux antérieurs ont principalement abordé les effets cardiovasculaires, musculaires ou posturaux de l'entraînement aquatique (Giraudet *et al.*, 2023 ; King, 2016 ; Santosuosso *et al.*, 2023) accordant peu d'attention à l'axe.

Plusieurs limites à cette étude doivent être rappelées.

- Premièrement, la taille réduite de l'échantillon, particulièrement dans le groupe des cervicalgiques, interdit toute généralisation des résultats.
- Deuxièmement, l'absence de groupe témoin ne recevant pas d'entraînement aquatique empêche d'établir un lien de causalité formel entre les changements observés et la natation. La présente étude ne fait que décrire l'évolution dans le temps lors d'un suivi longitudinal.
- Troisièmement, le recrutement des chevaux, contraint par des critères cliniques (chevaux présentant d'affections dorsales), financiers et pratiques (disponibilité des boxes et accès à la piscine), a conduit à inclure des individus présentant des niveaux d'activité hétérogènes au moment de l'inclusion. La reprise d'un entraînement encadré, en particulier chez les chevaux initialement au repos, pourrait à elle seule modifier la mobilité dorsale. Cette variabilité justifie la mise en place d'une phase préalable d'un mois d'entraînement terrestre destinée à homogénéiser les conditions physiques de départ. Toutefois, cette période influe sur les valeurs obtenues en tant que référence (« baseline ») avant le début de l'entraînement aquatique.
- Quatrièmement, les mesures de mobilité thoraco-lombaire ont été réalisées uniquement au trot en ligne droite sur sol dur, ce qui ne reflète pas nécessairement la complexité du mouvement du dos dans des conditions plus dynamiques (travail monté, cercles, galop...).

L'analyse cinématique a par ailleurs été restreinte à un repère unique au niveau de T18. Bien que ce site soit validé pour sa pertinence biomécanique et sa bonne reproductibilité (Hatrissse *et al.*, 2023), il offre une vision unidimensionnelle, excluant les mouvements de flexion latérale, de rotation axiale ainsi que les compensations dans les régions adjacentes.

Au-delà de la limitation spatiale, la technique de mesure par IMU comporte plusieurs limites. Les suivis ayant été réalisés sur une durée totale de trois ans, la mise en œuvre d'un système de capture de mouvement (MOCAP), était logistiquement et financièrement difficile à instaurer de manière homogène. Il a donc été nécessaire de recourir à une solution plus simple et reproductible sur le long terme, ici basée sur l'utilisation de capteurs inertiels (IMUs). La précision est influencée par la résolution d'échantillonnage, l'alignement des capteurs, les procédures de filtrage et les modèles de traitement des données. En l'état, la résolution angulaire effective des systèmes IMUs est estimée entre 0,2° et 0,5°. Par conséquent, les variations inférieures à 0,2° sont susceptibles de se situer en deçà du seuil de détection fiable, sauf en cas de très forte cohérence entre les

répétitions. Il est donc probable que certains changements mineurs reflètent davantage du bruit de mesure que de réelles variations de l'axe. De plus, comme l'ont discuté Hatriisse *et al.* (2023), bien que les IMUs constituent une méthode non invasive et adaptée au terrain pour le suivi au long court, elles restent sensibles aux artefacts liés aux tissus mous et aux variations anatomiques individuelles. Malgré une standardisation rigoureuse, de légères différences dans le placement ou l'orientation des capteurs peuvent induire une variabilité entre les séries de mesure. Enfin, les IMUs ne mesurent que le déplacement angulaire relatif, sans distinction entre un mouvement passif et un contrôle neuromusculaire actif.

Ces limitations justifient une interprétation prudente des données. Elles soulignent également l'intérêt de combiner l'analyse cinématique par IMU avec des approches complémentaires, telles que l'électromyographie, l'échographie musculaire ou la MOCAP, afin de mieux appréhender les adaptations neuromusculaires induites par la natation.

7. Considérations cliniques et perspectives

Tous les chevaux inclus sont restés cliniquement stables durant l'étude et n'ont reçu aucun traitement concomitant. Toutefois, la possibilité de processus de guérison spontanée ou d'évolution sous un seuil clinique des lésions ne peut pas être exclue. Des examens d'imagerie répétés (radiographies, échographies, scintigraphies), intégrés au protocole global, sont en cours d'analyse et permettront de mieux relier la dynamique lésionnelle aux changements cinématiques observés.

Sur le plan clinique, nos résultats suggèrent que la nage, intégrée à un protocole structuré de rééducation, n'induit pas de modifications substantielles de la mobilité thoracolombaire. Toutefois, l'analyse des réponses individuelles, incluant des augmentations et des diminutions d'amplitude, met en évidence la nécessité d'un suivi personnalisé. Ce suivi doit combiner des méthodes instrumentales dédiées comme les IMUS et une analyse clinique afin d'ajuster au mieux les paramètres d'entraînement (intensité, fréquence, durée) à chaque cheval.

Alors que Geiger *et al.* (2025) ont rapporté une amélioration clinique suite à une rééducation non montée basée sur des scores subjectifs et l'algométrie, notre étude se distingue par l'emploi de mesures instrumentées objectives. Bien que les protocoles ne soient pas directement comparables, l'intégration d'une évaluation cinématique fondée sur les IMUs offre un regard complémentaire sur la dynamique spinale fonctionnelle et permet une évaluation plus fine des résultats de rééducation.

Les tailles d'effet modérées à importantes observées chez certains individus suggèrent que la mobilité dorsale en T18 pourrait constituer un marqueur sensible de la réponse fonctionnelle, même en l'absence de variations cliniques. Il reste toutefois à déterminer dans quelle mesure ces changements sont associés à une amélioration du confort, de la performance ou du pronostic à long terme.

Des études futures devront explorer si des facteurs tels que l'amplitude spinale initiale, la chronicité des lésions ou les asymétries neuromusculaires influencent la réponse à l'entraînement aquatique. L'intégration d'outils tels que l'électromyographie de ou l'échographie musculaire pourrait également contribuer à mieux comprendre la relation entre adaptations cinématiques et réponses musculaires sous-jacentes.

Conclusion

Cette thèse s'est intéressée à l'évolution de la mobilité thoracolombaire au trot en ligne droite chez 16 chevaux présentant des lésions musculosquelettiques de l'axe, au cours d'un programme d'entraînement standardisé de 12 semaines incluant des séances de piscine.

Des différences significatives ont été observées dans l'évolution de l'amplitude de flexion-extension en T18 entre le groupe présentant des lésions cervicales et celui présentant des lésions thoracolombaires. En moyenne, le groupe des chevaux atteints de lésions cervicales présentait une amplitude de flexion-extension thoracolombaire supérieure de 0,7 à 1 degré (IC à 95 %) par rapport au groupe des chevaux présentant des lésions thoracolombaires.

Les analyses intra-groupes ont révélé une augmentation transitoire de l'amplitude de mobilité thoracolombaire après quatre semaines d'entraînement aquatique dans le groupe des dorsalgiques, suivie d'une diminution au cours du deuxième mois (plus importante que l'augmentation initiale). Aucun changement significatif de la mobilité thoracolombaire n'a été observé au fil du temps dans le groupe des cervicalgiques.

Toutefois, les analyses individuelles ont mis en évidence une variabilité importante, certains chevaux montrant des évolutions modérées à importantes, à la hausse ou à la baisse, indépendamment de la localisation des lésions.

Ces résultats suggèrent que la mobilité axiale peut évoluer de manière hétérogène à l'entraînement en piscine, soulignant l'importance d'un suivi individualisé durant la rééducation. L'exercice en piscine ne semble pas induire une réponse univoque et répétable sur des variations de mobilité dorsale, quel que soit le type de lésions dorsales. Ses effets biomécaniques sur la colonne vertébrale restent dans la présente étude, variables, et difficiles à prédire de façon généralisée. Des études complémentaires intégrant l'imagerie diagnostique et des évaluations neuromusculaires seront nécessaires pour continuer à affiner la compréhension des effets d'un entraînement en piscine pour optimiser les stratégies de rééducation.

Liste des références bibliographiques

- ASHEIM, A., KNUDSEN, O., LINDHOLM, A., *et al.* (1970) Heart Rates and Blood Lactate Concentrations of Standardbred Horses During Training and Racing. *Journal of the American Veterinary Medical Association* vol. 157, n° 3, p. 304-312. [<https://doi.org/10.2460/javma.1970.157.03.304>]
- ATALAIA, T., PRAZERES, J., ABRANTES, J., *et al.* (2021) Equine Rehabilitation: A Scoping Review of the Literature. *Animals* vol. 11, n° 6, p. 1508. [<https://doi.org/10.3390/ani11061508>]
- AUDIGIE, F., COUDRY, V., JACQUET, S., *et al.* (2013) Diagnostic par imagerie des lésions de la région thoracolombaire chez le cheval. *Bulletin de l'Académie Vétérinaire de France, Production et Santé animales dans les Pays du Sud* vol. 166, n° 4, p. 338-344. [<https://doi.org/10.4267/2042/53060>]
- BACK, W., CLAYTON, H.M. (2013) *Equine Locomotion*, 2^e. Philadelphie, Saunders Company.
- BONELLI, F., SGORBINI, M., MEUCCI, V., *et al.* (2017) How swimming affects plasma insulin and glucose concentration in Thoroughbreds: A pilot study. *Veterinary Journal* vol. 226, p. 1-3. [<https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2017.06.006>]
- BOSCH, S., SERRA BRAGANÇA, F., MARIN-PERIANU, M., *et al.* (2018) EquiMoves: A Wireless Networked Inertial Measurement System for Objective Examination of Horse Gait. *Sensors* vol. 18, n° 3, p. 850. [<https://doi.org/10.3390/s18030850>]
- BRESSEL, E., WING, J.E., MILLER, A.I., *et al.* (2014) High-Intensity Interval Training on an Aquatic Treadmill in Adults With Osteoarthritis: Effect on Pain, Balance, Function, and Mobility. *The Journal of Strength & Conditioning Research* vol. 28, n° 8, p. 2088. [<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000258>]
- BUCHNER, H.H.F., SCHILDBOECK, U. (2006) Physiotherapy applied to the horse: a review. *Equine Veterinary Journal* vol. 38, n° 6, p. 574-580. [<https://doi.org/10.2746/042516406x153247>]
- CARSTANJEN, B., TRELA, J., ZUKIEWICZ, K., *et al.* (2012) Repair and rehabilitation concept of a five-day-old radius fracture in a foal. *Schweizer Archiv für Tierheilkunde* vol. 154, n° 4, p. 153-154. [<https://doi.org/10.1024/0036-7281/a000319>]
- COHEN, J. (1992) A power primer. *Psychological Bulletin* vol. 112, n° 1, p. 155-159. [<https://doi.org/10.1037//0033-2909.112.1.155>]
- COUDRY, V., THIBAUD, D., RICCIO, B., *et al.* (2007) Efficacy of tiludronate in the treatment of horses with signs of pain associated with osteoarthritic lesions of the thoracolumbar vertebral column. *American Journal of Veterinary Research* vol. 68, n° 3, p. 329-337. [<https://doi.org/10.2460/ajvr.68.3.329>]
- DENOIX, J.-M. (2014) *Biomécanique et gymnastique du cheval*. Paris, Vigot.
- DENOIX, J.-M., PAILLOUX, J.-P. (1997) *Approche de la kinésithérapie du cheval*, 2^e. Paris, Vigot Maloine.

- EGENVALL, A., ENGSTRÖM, H., BYSTRÖM, A. (2023) Back motion in unriden horses in walk, trot and canter on a circle. *Veterinary Research Communications* vol. 47, n° 4, p. 1831-1843. [<https://doi.org/10.1007/s11259-023-10132-y>]
- FABER, M., SCHAMHARDT†, H., WEEREN, R. van, *et al.* (2000) Basic three-dimensional kinematics of the vertebral column of horses walking on a treadmill. *American Journal of Veterinary Research* vol. 61, n° 4, p. 399-406. [<https://doi.org/10.2460/ajvr.2000.61.399>]
- FISH, F.E., DINENNO, N.K., TRAIL, J. (2021) The « dog paddle »: Stereotypic swimming gait pattern in different dog breeds. *Anatomical Record* vol. 304, n° 1, p. 90-100. [<https://doi.org/10.1002/ar.24396>]
- GAULMIN, P. (2024) Analyse biomécanique de la nage chez le cheval. Thèse de doctorat vétérinaire. École Nationale Vétérinaire d'Alfort.
- GAULMIN, P., MARIN, F., MOIROUD, C., *et al.* (2025) Description and Analysis of Horse Swimming Strategies in a U-Shaped Pool. *Animals* vol. 15, n° 2, p. 195. [<https://doi.org/10.3390/ani15020195>]
- GEIGER, T., LINDENHAHN, L., DELAROCQUE, J., *et al.* (2025) Evaluation of water treadmill training, lunging and treadmill training in the rehabilitation of horses with back pain. *BMC Veterinary Research* vol. 21, n° 1, p. 495. [<https://doi.org/10.1186/s12917-025-04950-2>]
- GIRAUDET, C., MOIROUD, C., BEAUMONT, A., *et al.* (2023) Development of a Methodology for Low-Cost 3D Underwater Motion Capture: Application to the Biomechanics of Horse Swimming. *Sensors* vol. 23, n° 21, p. 8832. [<https://doi.org/10.3390/s23218832>]
- GÓMEZ ÁLVAREZ, C.B.G., RHODIN, M., BOBBERT, M.F., *et al.* (2006) The effect of head and neck position on the thoracolumbar kinematics in the unriden horse. *Equine Veterinary Journal* vol. 38, n° S36, p. 445-451. [<https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2006.tb05585.x>]
- GREVE, L., PFAU, T., DYSON, S. (2017) Thoracolumbar movement in sound horses trotting in straight lines in hand and on the lunge and the relationship with hind limb symmetry or asymmetry. *The Veterinary Journal* vol. 220, p. 95-104. [<https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2017.01.003>]
- GROSSI, I., MERLUZZI, G., BECCATI, F., *et al.* (2024) Characteristics of horse gait during swimming exercise in swimming pool. *Journal of Equine Rehabilitation* vol. 2, p. 100012. [<https://doi.org/10.1016/j.eqre.2024.100012>]
- HARDEMAN, A.M., BYSTRÖM, A., ROEPSTORFF, L., *et al.* (2020) Range of motion and between-measurement variation of spinal kinematics in sound horses at trot on the straight line and on the lunge. *PLOS ONE* vol. 15, n° 2, p. e0222822. [<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222822>]
- HATRISSE, C. (2024) Quantification de la locomotion et de la charge de travail du cheval en conditions réelles d'entraînement. Thèse de doctorat. Université Lyon 1.
- HATRISSE, C., MACAIRE, C., HEBERT, C., *et al.* (2023) A Method for Quantifying Back Flexion/Extension from Three Inertial Measurement Units Mounted on a Horse's Withers, Thoracolumbar Region, and Pelvis. *Sensors* vol. 23, n° 24, p. 9625. [<https://doi.org/10.3390/s23249625>]

- HOBO, S., YOSHIDA, K., YOSHIHARA, T. (1998) Characteristics of respiratory function during swimming exercise in thoroughbreds. *The Journal of Veterinary Medical Science* vol. 60, n° 6, p. 687-689. [<https://doi.org/10.1292/jvms.60.687>]
- IMAHARA, T. (1976) Swimming Pool for Horses. *Experimental Reports of Equine Health Laboratory* vol. 1976, n° 13, p. 79-82. [<https://doi.org/10.11535/jes1961.1976.79>]
- IRWIN, D.H.G., HOWELL, D.W. (1980) Some thoughts on swimming horses in a pool. *Journal of the South African Veterinary Association* vol. 51, n° 3, p. 189-191. [https://doi.org/10.10520/AJA00382809_3185]
- JACCARD, J., BECKER, M.A., WOOD, G. (1984) Pairwise multiple comparison procedures: A review. *Psychological Bulletin* vol. 96, n° 3, p. 589-596. [<https://doi.org/10.1037/0033-2909.96.3.589>]
- KAMIOKA, H., TSUTANI, K., OKUIZUMI, H., *et al.* (2010) Effectiveness of aquatic exercise and balneotherapy: a summary of systematic reviews based on randomized controlled trials of water immersion therapies. *Journal of Epidemiology* vol. 20, n° 1, p. 2-12. [<https://doi.org/10.2188/jea.je20090030>]
- KANEPS, A.J. (2016) Practical Rehabilitation and Physical Therapy for the General Equine Practitioner. *The Veterinary Clinics of North America, Equine Practice* vol. 32, n° 1, p. 167-180. [<https://doi.org/10.1016/j.cveq.2015.12.001>]
- KING, M.R. (2016) Principles and Application of Hydrotherapy for Equine Athletes. *The Veterinary Clinics of North America, Equine Practice* vol. 32, n° 1, p. 115-126. [<https://doi.org/10.1016/j.cveq.2015.12.008>]
- KING, M.R., HAUSSLER, K.K., KAWCAK, C.E., *et al.* (2017) Biomechanical and histologic evaluation of the effects of underwater treadmill exercise on horses with experimentally induced osteoarthritis of the middle carpal joint. *American Journal of Veterinary Research* vol. 78, n° 5, p. 558-569. [<https://doi.org/10.2460/ajvr.78.5.558>]
- KING, M.R., HAUSSLER, K.K., KAWCAK, C.E., *et al.* (2013) Effect of underwater treadmill exercise on postural sway in horses with experimentally induced carpal joint osteoarthritis. *American Journal of Veterinary Research* vol. 74, n° 7, p. 971-982. [<https://doi.org/10.2460/ajvr.74.7.971>]
- KLOMP, M. (2014) Swimming exercise and race performance in Thoroughbred racehorses. *Pferdeheilkunde Equine Medicine* vol. 30, n° 4, p. 403-406. [<https://doi.org/10.21836/PEM20140405>]
- KUZNETSOVA, A., BROCKHOFF, P.B., CHRISTENSEN, R.H.B. (2017) lmerTest Package: Tests in Linear Mixed Effects Models. *Journal of Statistical Software* vol. 82, p. 1-26. [<https://doi.org/10.18637/jss.v082.i13>]
- LAM, K.H., PARKIN, T.D.H., RIGGS, C.M., *et al.* (2007) Descriptive analysis of retirement of Thoroughbred racehorses due to tendon injuries at the Hong Kong Jockey Club (1992-2004). *Equine Veterinary Journal* vol. 39, n° 2, p. 143-148. [<https://doi.org/10.2746/042516407x159132>]
- LEGUILLETTE, R. (2024) Revue et aspects pratiques de l'entraînement du cheval sur tapis roulant aquatique et en piscine. *Pratique Vétérinaire Equine* n° 222.

MACKECHNIE-GUIRE, R., PFAU, T. (2021) Differential Rotational Movement of the Thoracolumbosacral Spine in High-Level Dressage Horses Ridden in a Straight Line, in Sitting Trot and Seated Canter Compared to In-Hand Trot. *Animals* vol. 11, n° 3, p. 888. [<https://doi.org/10.3390/ani11030888>]

MALDONADO, M.D., PARKINSON, S.D., STORY, M.R., *et al.* (2022) The Effect of Chiropractic Treatment on Limb Lameness and Concurrent Axial Skeleton Pain and Dysfunction in Horses. *Animals* vol. 12, n° 20, p. 2845. [<https://doi.org/10.3390/ani12202845>]

MATLAB, MathWorks Help Center. Available online. [<https://fr.mathworks.com/help/matlab/index.html>] (consulté le 01/05/2025).

MCCLINTOK, S.A., HUTCHINS, D.R., BROWNLOW, M.A. (1987) Determination of weight reduction in horses in flotation tanks. *Equine Veterinary Journal* vol. 19, n° 1, p. 70-71. [<https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1987.tb02586.x>]

MISUMI, K., SAKAMOTO, H., SHIMIZU, R. (1994) The validity of swimming training for two-year-old thoroughbreds. *The Journal of Veterinary Medical Science* vol. 56, n° 2, p. 217-222. [<https://doi.org/10.1292/jvms.56.217>]

MUÑOZ, A., SAITUA, A., BECERO, M., *et al.* (2019) The Use of the Water Treadmill for the Rehabilitation of Musculoskeletal Injuries in the Sport Horse. *Journal of Veterinary Research* vol. 63, n° 3, p. 439-445. [<https://doi.org/10.2478/jvetres-2019-0050>]

MUNSTERS, C., VAN DEN BROEK, J., WELLING, E., *et al.* (2013) A prospective study on a cohort of horses and ponies selected for participation in the European Eventing Championship: reasons for withdrawal and predictive value of fitness tests. *BMC Veterinary Research* vol. 9, n° 1, p. 182. [<https://doi.org/10.1186/1746-6148-9-182>]

MURAKAMI, M., IMAHARA, T., INUI, T., *et al.* (1976) Swimming Exercises in Horses. *Experimental Reports of Equine Health Laboratory* vol. 1976, n° 13, p. 27-49. [<https://doi.org/10.11535/jes1961.1976.27>]

NICHOLL, T.K., FREGIN, G.F.& GERBER, N.H. (1978) Swimming - a method to study the physiologic response of the horse to exercise. *Journal of the South African Veterinary Association* vol. 49, n° 4, p. 313-315. [https://doi.org/10.10520/AJA00382809_4086]

OBERLÉ, L. (2024) Le travail du cheval en milieu aquatique : état actuel des connaissances. Thèse de doctorat vétérinaire. École Nationale Vétérinaire d'Alfort.

PORTER, M. (2005) Equine rehabilitation therapy for joint disease. *The Veterinary Clinics of North America. Equine Practice* vol. 21, n° 3, p. 599-607, vi. [<https://doi.org/10.1016/j.cveq.2005.08.002>]

PRINS, J., CUTNER, D. (1999) Aquatic therapy in the rehabilitation of athletic injuries. *Clinics in Sports Medicine* vol. 18, n° 2, p. 447-461. [[https://doi.org/10.1016/S0278-5919\(05\)70158-7](https://doi.org/10.1016/S0278-5919(05)70158-7)]

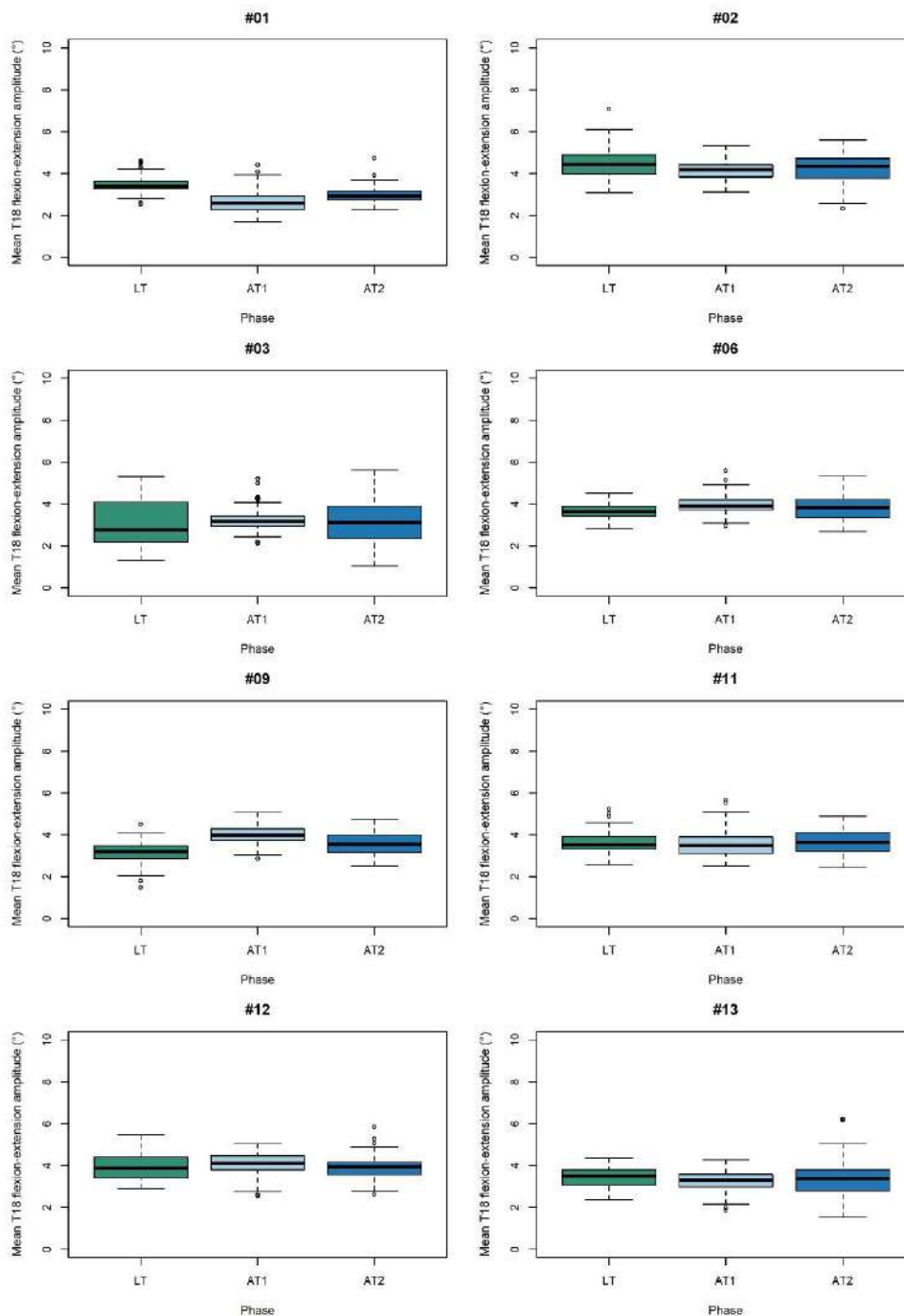
R CORE TEAM (2024) R: A Language and Environment for Statistical Computing. *R Foundation for Statistical Computing*. Vienna, Austria. <<https://www.R-project.org/>>.

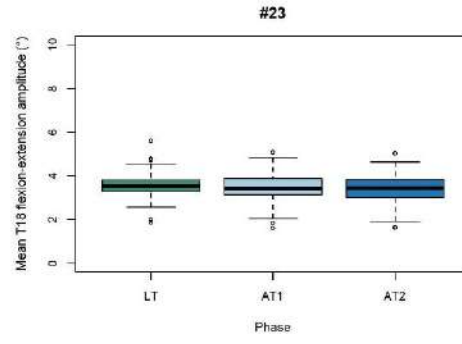
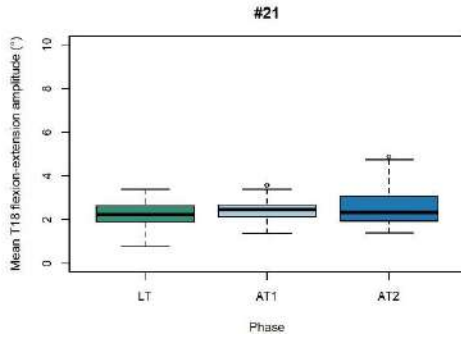
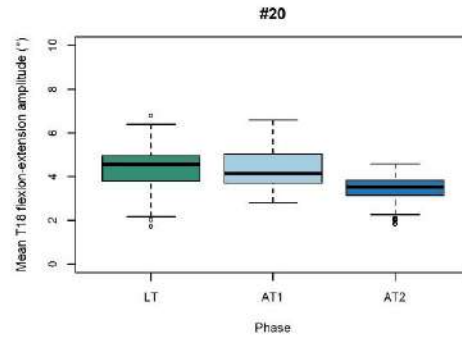
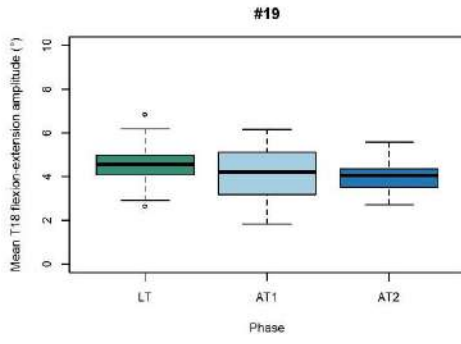
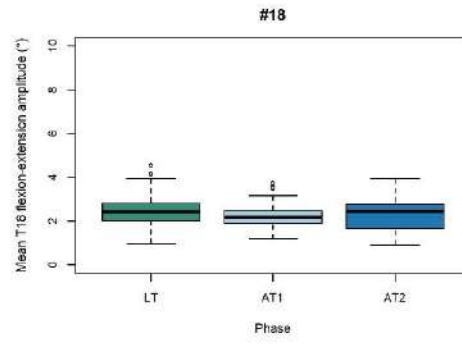
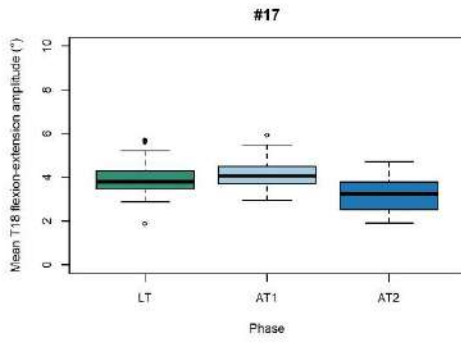
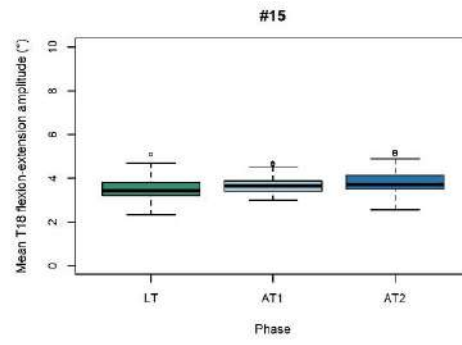
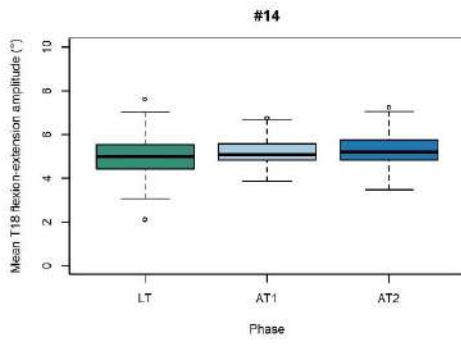
RHODIN, M., JOHNSTON, C., HOLM, K.R., *et al.* (2005) The influence of head and neck position on kinematics of the back in riding horses at the walk and trot. *Equine Veterinary Journal* vol. 37, n° 1, p. 7-11. [<https://doi.org/10.2746/0425164054406928>]

- SANTOSUOSSO, E., DAVID, F., MASSIE, S., *et al.* (2023) Frequency of cardiac arrhythmias in horses during straight and untethered swimming. *Equine Veterinary Journal* vol. 55, n° 5, p. 738-746. [<https://doi.org/10.1111/evj.13895>]
- SANTOSUOSSO, E., LEGUILLETTE, R., VINARDELL, T., *et al.* (2022) Kinematic Analysis During Straight Line Free Swimming in Horses: Part 2 - Hindlimbs. *Frontiers in Veterinary Science* vol. 8, p. 761500. [<https://doi.org/10.3389/fvets.2021.761500>]
- SANTOSUOSSO, E., LEGUILLETTE, R., VINARDELL, T., *et al.* (2021) Kinematic Analysis During Straight Line Free Swimming in Horses: Part 1 - Forelimbs. *Frontiers in Veterinary Science* vol. 8, p. 752375. [<https://doi.org/10.3389/fvets.2021.752375>]
- SCHLACHTER, C., LEWIS, C. (2016) Electrophysical Therapies for the Equine Athlete. *The Veterinary Clinics of North America. Equine Practice* vol. 32, n° 1, p. 127-147. [<https://doi.org/10.1016/j.cveq.2015.12.011>]
- SHRESTHA, K., GILKERSON, J.R., STEVENSON, M.A., *et al.* (2021) Drivers of exit and outcomes for Thoroughbred racehorses participating in the 2017–2018 Australian racing season. *PLoS ONE* vol. 16, n° 9, p. e0257581. [<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0257581>]
- SILVA, L.E., VALIM, V., PESSANHA, A.P.C., *et al.* (2008) Hydrotherapy versus conventional landbased exercise for the management of patients with osteoarthritis of the knee: a randomized clinical trial. *Physical Therapy* vol. 88, n° 1, p. 12-21. [<https://doi.org/10.2522/ptj.20060040>]
- SMITH, W.N. (1981) Use of a Flotation Tank to Sling Horses and Cattle Undergoing Surgery to the Limbs. *Australian Veterinary Journal* vol. 57, n° 10, p. 441-443. [<https://doi.org/10.1111/j.1751-0813.1981.tb05758.x>]
- STEEL, C., BOND, B., MORRICE-WEST, A. (2019) Survey of trainers on the use of swimming exercise for Standardbred racehorses in Australia. *Australian Veterinary Journal* vol. 97, n° 3, p. 61-67. [<https://doi.org/10.1111/avj.12786>]
- THOMAS, D.P., FREGIN, G.F., GERBER, N.H., *et al.* (1980) Cardiorespiratory adjustments to tethered-swimming in the horse. *Pflugers Archiv: European Journal of Physiology* vol. 385, n° 1, p. 65-70. [<https://doi.org/10.1007/BF00583916>]
- THOMSON, P.C., HAYEK, A.R., JONES, B., *et al.* (2014) Number, causes and destinations of horses leaving the Australian Thoroughbred and Standardbred racing industries. *Australian Veterinary Journal* vol. 92, n° 8, p. 303-311. [<https://doi.org/10.1111/avj.12204>]
- TOKURIKI, M., OHTSUKI, R., KAI, M., *et al.* (1999) EMG activity of the muscles of the neck and forelimbs during different forms of locomotion. *Equine Veterinary Journal. Supplement* n° 30, p. 231-234. [<https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1999.tb05224.x>]
- YOUNG, A. (2022) Healing Waters? *In Horse Report-School of Veterinary Medicine-University of California*. [<https://cehhorsereport.vetmed.ucdavis.edu/news/healing-waters>] (consulté le 13/05/2025).

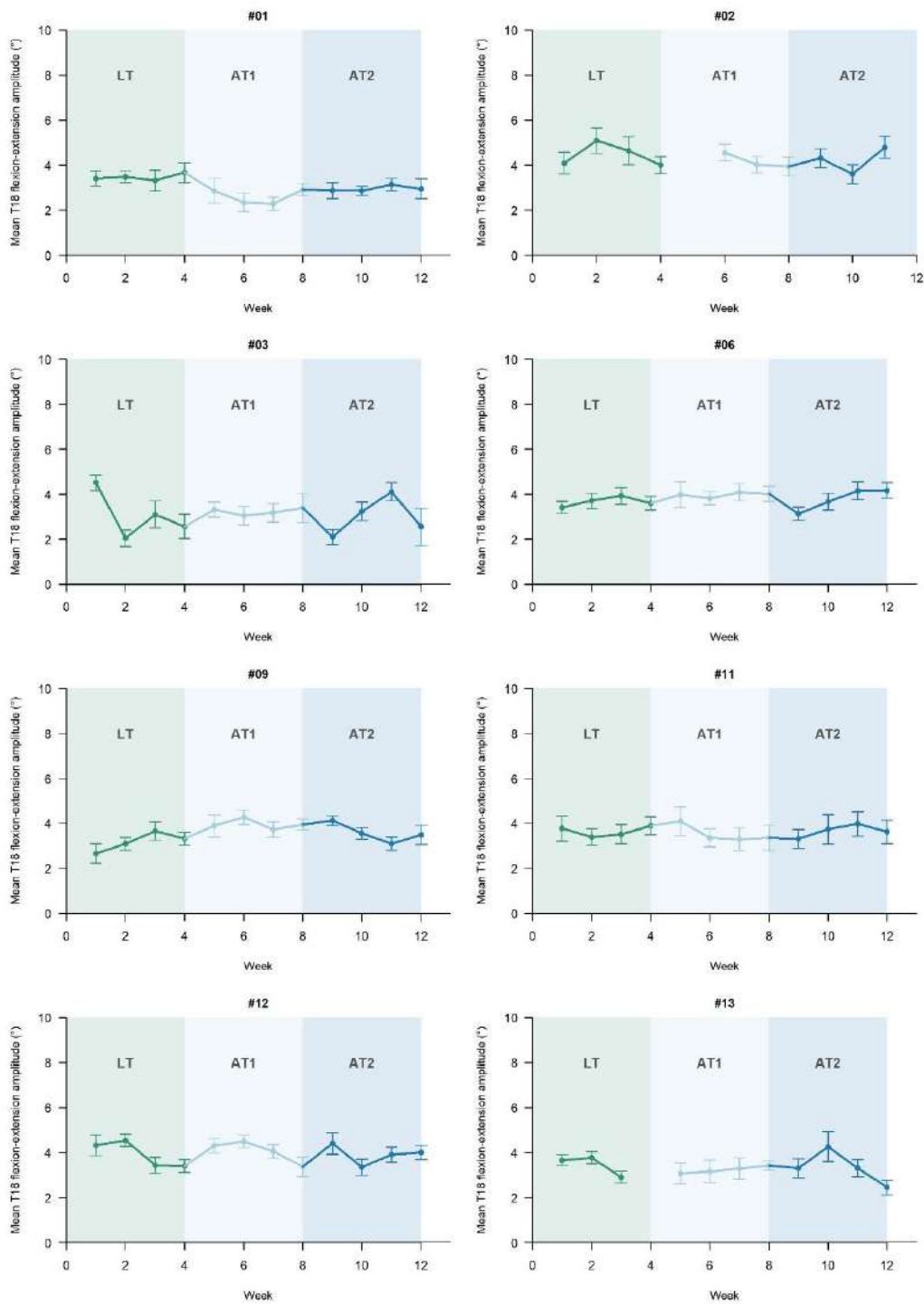
Annexe

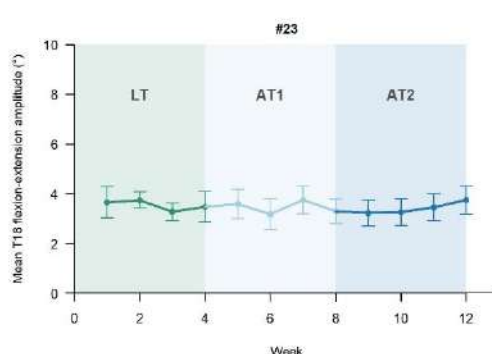
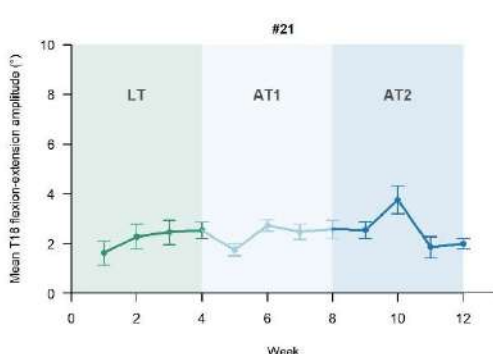
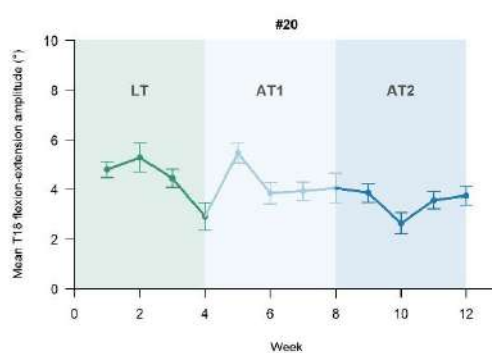
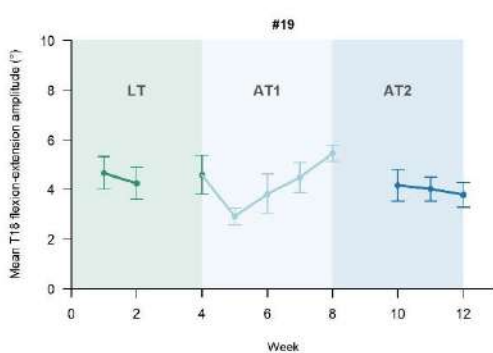
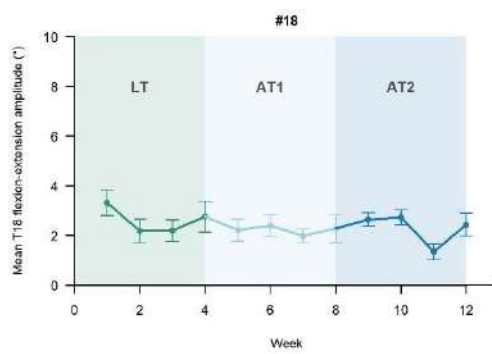
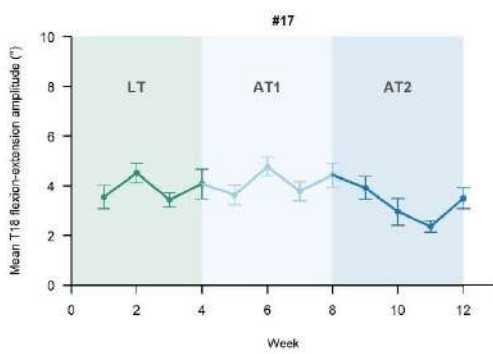
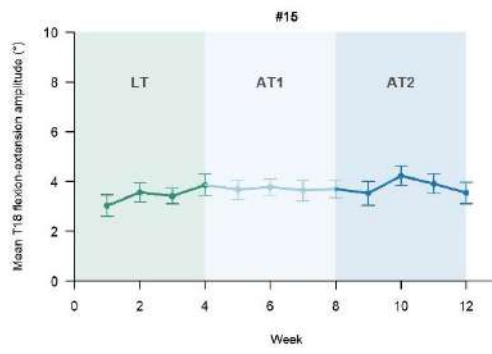
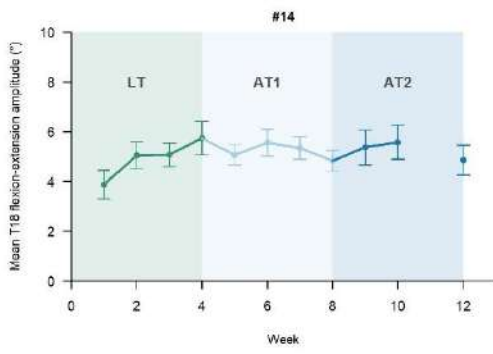
Appendix Table A1. Boîtes à moustaches individuelles de l'amplitude de flexion-extension de l'angle T18 (°) selon les phases d'entraînement chez des chevaux présentant des lésions thoracolombaires et cervicales. Phases : Entraînement terrestre (LT) ; Entraînement aquatique 1 (AT1) ; Entraînement aquatique 2 (AT2). Ligne épaisse à l'intérieur de la boîte : médiane ; boîte : intervalle interquartile (du premier au troisième quartile) ; moustaches : valeurs minimale et maximale dans 1,5 × l'intervalle interquartile (hors valeurs aberrantes) ; points : foulées individuelles aberrantes. Le numéro du cheval est précédé du signe #.





Appendix Table A2. Moyennes et écarts-types individuels de l'amplitude de flexion-extension de l'angle T18 (°) au fil des semaines chez des chevaux présentant des lésions thoracolombaires et cervicales. Phases : Entraînement terrestre (LT) ; Entraînement aquatique 1 (AT1) ; Entraînement aquatique 2 (AT2). Le numéro du cheval est précédé du signe #.





Evolution de la mobilité dorsale au cours d'un entraînement en piscine chez des chevaux souffrant de dorsalgies et cervicalgies

AUTEUR : Baptiste PECRESSE

RÉSUMÉ :

Les affections de l'axe sont des causes fréquentes de diminution de performance et de mise à la retraite anticipée chez les chevaux de sport. La nage est souvent intégrée aux programmes de rééducation, car l'eau grâce à la poussée d'Archimède, réduit la contrainte exercée sur les membres tout en maintenant la fonction cardiovasculaire et l'activité musculaire. Toutefois, son influence sur la mobilité de l'axe n'a pas encore été clairement quantifiée.

Dans cette thèse, 16 chevaux de sport, diagnostiqués avec des lésions musculosquelettiques principalement cervicales ou thoracolombaires, ont suivi un programme de rééducation de 12 semaines incluant des séances de natation. Pour évaluer objectivement les modifications de la mobilité axiale, des capteurs de mouvement inertiels ont été placés le long de la colonne vertébrale, et des mesures hebdomadaires de la mobilité thoracolombaire ont été réalisées pendant que les chevaux trottaient en ligne droite sur sol dur.

Les chevaux présentant des lésions cervicales ont constamment montré une plus grande amplitude de mouvement de flexion-extension du dos par rapport à ceux atteints de lésions thoracolombaires. A l'échelle du groupe, la mobilité thoracolombaire a peu évolué au cours du temps la natation entre les phases d'entraînement terrestres et aquatiques, aussi bien chez les chevaux cervicalgiques que dorsalgiques. En revanche, les analyses individuelles ont révélé des réponses plus contrastées : parmi les chevaux cervicalgiques, deux ont présenté une diminution et un une augmentation d'amplitude, tandis que chez les chevaux dorsalgiques (n=12), sept ont montré une évolution significative dont quatre une diminution moyenne d'environ 15 %, et trois une augmentation d'environ 12 % par rapport à la phase terrestre. Dans l'ensemble de la population, les variations absolues d'angle sont restées faibles (inférieures à 1°).

Ces résultats suggèrent que la natation n'induit pas d'effets biomécaniques uniformes sur la mobilité dorsale. Un suivi individualisé, notamment lors de l'évaluation au trot en ligne droite, pourrait permettre aux vétérinaires et aux entraîneurs d'adapter plus finement les protocoles de rééducation aquatique afin d'optimiser la récupération fonctionnelle.

MOTS CLÉS :

Cinématique thoracolombaire ; Dorsalgie ; Entraînement aquatique ; Mobilité dorsale ; Natation ; Affections de l'axe ; Piscine ; Rééducation équine ; Unités de mesure inertielle

JURY :

Président : Pr Fabrice AUDIGIÉ

Directeur de thèse : Pr Henry CHATEAU

Examinatrices : Dr Virginie COUDRY, Dr Sandrine JACQUET

Invitées : Dr Claire MOIROUD, Mme Sandrine HANNE-POUJADE

Evolution of spinal mobility during pool training in horses suffering from back and cervical pain

AUTHOR: Baptiste PECRESSE

SUMMARY:

Back pain and spinal disorders are common causes of impaired performance and premature retirement in sport horses. Swimming is frequently integrated into rehabilitation programs because the water supports body weight, thereby reducing stress on the limbs while maintaining cardiovascular conditioning and muscle activity. However, its influence on spinal motion has not been clearly quantified.

In this study, sixteen sport horses diagnosed with cervical or thoracolumbar musculoskeletal lesions completed a 12-week rehabilitation program that included swimming sessions. To objectively evaluate changes in spinal mobility, inertial motion sensors were placed along the spine and weekly measurements were performed while the horses trotted in a straight line on a hard surface.

Horses with cervical lesions consistently exhibited a greater range of flexion–extension movement of the back compared with those with thoracolumbar lesions. At the group level, thoracolumbar mobility showed little change over time between terrestrial and aquatic training phases, both in horses with cervical and those with thoracolumbar disorders. In contrast, individual analyses revealed more variable responses: among the cervical cases, two horses showed a decrease and one an increase in amplitude, whereas among the thoracolumbar cases (n=12), seven exhibited significant changes (four with an average decrease of about 15% and three with an increase of approximately 12% compared with the terrestrial phase). Across the entire population, absolute angular variations remained small (below 1°).

These findings suggest that swimming does not induce uniform biomechanical effects on dorsal mobility. Individual monitoring, particularly through straight-line trot evaluation, could help veterinarians and trainers refine aquatic rehabilitation programs to optimize functional recovery.

KEYWORDS:

Aquatic training; Axial disorders; Back pain; Equine rehabilitation; Inertial measurement units; Swimming; Spinal mobility; Thoracolumbar kinematics

JURY:

Chairperson: Pr Fabrice AUDIGIÉ

Thesis Director: Pr Henry CHATEAU

Reviewers: Dr Virginie COUDRY, Dr Sandrine JACQUET

Guests: Dr Claire MOIROUD, Mme Sandrine HANNE-POUJADE