

**VETAGRO SUP  
CAMPUS VETERINAIRE DE LYON**

Année 2011 - Thèse n°

***ETUDE DE LA MUSCULATURE DU RACHIS DU CHEVAL PAR  
MESURES ECHOGRAPHIQUES***

**THESE**

Présentée à VETAGRO SUP CAMPUS VETERINAIRE DE LYON  
et soutenue publiquement le 27 juin 2011  
pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire

par

*PRACH Amandine*  
Née le 10 septembre 1986  
à Pertuis (84)



VetAgro Sup



**VETAGRO SUP  
CAMPUS VETERINAIRE DE LYON**

Année 2011 - Thèse n°

***ETUDE DE LA MUSCULATURE DU RACHIS DU CHEVAL PAR  
MESURES ECHOGRAPHIQUES***

**THESE**

Présentée à VETAGRO SUP CAMPUS VETERINAIRE DE LYON  
et soutenue publiquement le 27 juin 2011  
pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire

par

*PRACH Amandine*  
Née le 10 septembre 1986  
à Pertuis (84)



VetAgro Sup





# LISTE DU CORPS ENSEIGNANT

NOM	Prénom	Grade	Unité Pédagogique
ALOGNINOUIWA	Théodore	Professeur 1ere cl	Pathologie du bétail
ALVES-DE-OLIVEIRA	Laurent	Maître de conférences hors cl	Gestion des élevages
ARCANGIOLI	Marie-Anne	Maître de conférences cl normale	Pathologie du bétail
ARTOIS	Marc	Professeur 1ere cl	Santé Publique et Vétérinaire
BECKER	Claire	Maître de conférences cl normale	Pathologie du bétail
BELLI	Patrick	Maître de conférences associé	Pathologie morphologique et clinique
BELLUCO	Sara	Maître de conférences cl normale	Pathologie morphologique et clinique
BENAMOU-SMITH	Agnès	Maître de conférences cl normale	Equine
BENOIT	Etienne	Professeur 1ere cl	Biologie fonctionnelle
BERNY	Philippe	Professeur 1ere cl	Biologie fonctionnelle
BONNET-GARIN	Jeanne-Marie	Professeur 2eme cl	Biologie fonctionnelle
BOULOCHER	Caroline	Maître de conférences cl normale	Anatomie Chirurgie (ACSAI)
BOURDOISEAU	Gilles	Professeur 1ere cl	Santé Publique et Vétérinaire
BOURGOIN	Gilles	Maître de conférences cl normale	Santé Publique et Vétérinaire
BRUYERE	Pierre	Maître de conférences Contractuel	Biotechnologies et pathologie de la reproduction
BUFF	Samuel	Maître de conférences cl normale	Biotechnologies et pathologie de la reproduction
BURONFOSSE	Thierry	Maître de conférences hors cl	Biologie fonctionnelle
CACHON	Thibaut	Maître de conférences Contractuel	Anatomie Chirurgie (ACSAI)
CADORE	Jean-Luc	Professeur 1ere cl	Pathologie médicale des animaux de compagnie
CALLAIT-CARDINAL	Marie-Pierre	Maître de conférences cl normale	Santé Publique et Vétérinaire
CAROZZO	Claude	Maître de conférences cl normale	Anatomie Chirurgie (ACSAI)
CHABANNE	Luc	Professeur 1ere cl	Pathologie médicale des animaux de compagnie
CHALVET-MONFRAY	Karine	Maître de conférences hors cl	Biologie fonctionnelle
COMMUN	Loic	Maître de conférences cl normale	Gestion des élevages
DELIGNETTE-MULLER	Marie-Laure	Professeur 2eme cl	Biologie fonctionnelle
DEMONT	Pierre	Professeur 2eme cl	Santé Publique et Vétérinaire
DESJARDINS PESSON	Isabelle	Maître de conférences Contractuel	Equine
DJELOUADJI	Zorée	Maître de conférences stagiaire	Santé Publique et Vétérinaire
ESCRIOU	Catherine	Maître de conférences cl normale	Pathologie médicale des animaux de compagnie
FAU	Didier	Professeur 1ere cl	Anatomie Chirurgie (ACSAI)
FOURNEL	Corinne	Professeur 1ere cl	Pathologie morphologique et clinique
FRANCK	Michel	Professeur 1ere cl	Gestion des élevages
FRIKHA	Mohamed-Ridha	Maître de conférences cl normale	Pathologie du bétail
GANGL	Monika	Maître de conférences Contractuel	Equine
GARNIER	François	Professeur 1ere cl	Biologie fonctionnelle
GENEVOIS	Jean-Pierre	Professeur cl ex	Anatomie Chirurgie (ACSAI)
GILOT-FROMONT	Emmanuelle	Professeur 2eme cl	Biologie Fonctionnelle
GONTHIER	Alain	Maître de conférences cl normale	Santé Publique et Vétérinaire
GRAIN	Françoise	Professeur 2eme cl	Gestion des élevages
GRANCHER	Denis	Maître de conférences hors cl	Gestion des élevages
GREZEL	Delphine	Maître de conférences cl normale	Santé Publique et Vétérinaire
GUERIN	Pierre	Professeur 2eme cl	Biotechnologies et pathologie de la reproduction
GUERIN-FAUBLEE	Véronique	Maître de conférences hors cl	Biologie fonctionnelle
HUGONNARD	Marine	Maître de conférences cl normale	Pathologie médicale des animaux de compagnie

<b>NOM</b>	<b>Prénom</b>	<b>Grade</b>	<b>Unité Pédagogique</b>
JUNOT	Stéphane	Maître de conférences ci normale	Anatomie Chirurgie (ACSAI)
KECK	Gérard	Professeur 1ere cl	Biologie fonctionnelle
KODJO	Angeli	Professeur 2eme cl	Santé Publique et Vétérinaire
LACHERETZ	Antoine	Professeur 1ere cl	Santé Publique et Vétérinaire
LAMBERT	Véronique	Maître de conférences ci normale	Gestion des élevages
LE-GRAND	Dominique	Maître de conférences hors cl	Pathologie du bétail
LEBLOND	Agnes	Professeur 2eme cl	Santé Publique et Vétérinaire
LEFRANC-POHL	Anne-Cécile	Maître de conférences ci normale	Biotechnologies et pathologie de la reproduction
LEPAGE	Olivier	Professeur 1ere cl	Equine
LOUZIER	Vanessa	Maître de conférences ci normale	Biologie Fonctionnelle
MARCHAL	Thierry	Maître de conférences hors cl	Pathologie morphologique et clinique
MIALET	Sylvie	Inspecteur de la santé publique vétérinaire (ISPV) faisant fonction de MC	Santé Publique et Vétérinaire
MOUNIER	Luc	Maître de conférences ci normale	Gestion des élevages
PEPIN	Michel	Professeur 1ere cl	Santé Publique et Vétérinaire
PIN	Didier	Maître de conférences ci normale	Pathologie morphologique et clinique
PONCE	Frédérique	Maître de conférences ci normale	Pathologie médicale des animaux de compagnie
PORTIER	Karine	Maître de conférences ci normale	Anatomie Chirurgie (ACSAI)
PROUILLAC	Caroline	Maître de conférences ci normale	Biologie fonctionnelle
REMY	Denise	Professeur 2eme cl	Anatomie Chirurgie (ACSAI)
ROGER	Thierry	Professeur 1ere cl	Anatomie Chirurgie (ACSAI)
SABATIER	Philippe	Professeur 2eme cl	Biologie fonctionnelle
SAWAYA	Serge	Maître de conférences ci normale	Anatomie Chirurgie (ACSAI)
SERGENTET	Delphine	Maître de conférences ci normale	Santé Publique et Vétérinaire
THIEBAULT	Jean-Jacques	Maître de conférences hors cl	Biologie fonctionnelle
VIGUIER	Eric	Professeur 1ere cl	Anatomie Chirurgie (ACSAI)
VIRIEUX-WATRELOT	Dorothee	Maître de conférences Contractuel	Pathologie morphologique et clinique
ZENNER	Lionel	Professeur 2eme cl	Santé Publique et Vétérinaire

# **REMERCIEMENTS**

**A Madame le Professeur Elvire SERVIEN,**  
**De la faculté de Médecine de Lyon,** pour avoir accepté et nous avoir fait l'honneur de  
présider ce jury,  
Mes hommages respectueux.

**A Monsieur le Professeur Olivier LEPAGE,**  
**De VetAgro Sup Campus vétérinaire de Lyon,** pour m'avoir fait l'honneur et le plaisir de  
diriger cette thèse,  
Toute ma reconnaissance.

**A Monsieur le Professeur Serge SAWAYA,**  
**De VetAgro Sup Campus vétérinaire de Lyon,** pour m'avoir fait l'honneur de participer à  
ce jury et pour l'intérêt porté à ce travail,  
Toute ma gratitude.

**A Monika GANGL,**  
**De VetAgro Sup Campus vétérinaire de Lyon,** pour m'avoir encadrée dans la réalisation de  
cette thèse, pour votre disponibilité et votre motivation tout au long de son élaboration,  
Mes sincères remerciements.

**A Aurélie et Nolwenn,**  
Pour les nombreuses heures, parfois tardives, passées à réaliser les images échographiques et  
les mesures.

**Aux cavaliers et propriétaires,**  
Pour avoir accepté de me confier leurs chevaux pour la réalisation de la partie expérimentale  
de ce travail.



# REMERCIEMENTS PERSONNELS

## **A mes parents,**

Et en particulier à **ma maman**, pour m'avoir toujours soutenue et fait confiance, pour ta présence dans les moments difficiles et pour tout ce que tu as pu m'apporter,  
Un très grand merci.

## **A ma sœur,**

Pour ton soutien, ta joie de vivre et tous les moments que nous avons partagés et partagerons encore.  
Toute mon affection

## **A toute ma famille,**

Merci.

## **A tous mes amis vétos,**

Pour ces cinq années inoubliables passées en votre compagnie,  
Pour toutes ces soirées mémorables,  
A mes anciens groupes de clinique et co-groupes de clinique, qui ont su rendre agréables les très longues heures de clinique,  
Merci.

## **A mes amis d'enfance et du sud,**

A qui je pense très souvent, malgré l'éloignement.

## **Aux amis cavaliers,**

Pour notre belle passion partagée.



# TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION.....	17
-------------------	----

## **PREMIERE PARTIE : Anatomie, biomécanique et pathologies de la colonne vertébrale du cheval**

1	ANATOMIE DU RACHIS DU CHEVAL.....	20
1.1	Ostéologie du rachis.....	20
1.1.1	Caractères généraux.....	20
1.1.2	Vertèbres cervicales.....	21
1.1.3	Vertèbres thoraciques.....	23
1.1.4	Vertèbres lombaires.....	24
1.1.5	Sacrum.....	25
1.1.6	Vertèbres coccygiennes.....	26
1.2	Arthrologie du rachis.....	26
1.2.1	Articulations des corps vertébraux.....	27
1.2.2	Articulations des arcs vertébraux.....	27
1.2.3	Articulations vertébrales particulières.....	29
1.2.4	Mouvements de la colonne vertébrale.....	29
1.3	Myologie du rachis.....	30
1.3.1	Physiologie du tissu musculaire strié squelettique.....	30
1.3.2	Muscles de l'encolure.....	38
1.3.3	Muscles des régions thoracique, lombaire et sacrale.....	40
1.3.4	Muscles de la paroi de l'abdomen.....	42
2	BIOMECANIQUE DU RACHIS.....	46
2.1	Analyse biomécanique de la colonne vertébrale.....	46
2.1.1	Segment cervical.....	46
2.1.2	Segments thoracique, lombaire et sacré.....	49
2.1.3	Chaînes musculaires dorsale et ventrale.....	52
2.2	Biomécanique de la colonne vertébrale lors de la locomotion.....	53
2.2.1	Au pas.....	54
2.2.2	Au trot.....	55
2.2.3	Au galop.....	57
2.2.4	Lors des principaux mouvements de dressage.....	59
2.2.5	Lors du saut.....	64
3	DORSALGIES.....	68
3.1	Principales affections du dos.....	68
3.2	Moyens d'investigation des dorsalgies.....	71
3.2.1	Anamnèse et commémoratifs.....	71
3.2.2	Examen clinique au repos.....	72
3.2.3	Examen en mouvement.....	80
3.2.4	Examen neurologique.....	84

3.2.5	Examen radiographique .....	85
3.2.6	Examen échographique.....	86
3.2.7	Anesthésies sémiologiques .....	88
3.2.8	Examen scintigraphique.....	88
3.2.9	Examen thermographique.....	89
3.2.10	Analyses de laboratoire.....	90

## **DEUXIEME PARTIE : Etude de la musculature mobilisatrice du rachis du cheval selon son type d'activité**

1	OBJECTIFS .....	93
2	MATERIEL ET METHODES .....	94
2.1	Mise au point de la méthode de mesure.....	94
2.1.1	Choix des muscles.....	94
2.1.2	Réalisation des mesures .....	94
2.2	Etablissement des trois groupes de chevaux.....	97
2.2.1	Groupe 1 : chevaux au repos.....	97
2.2.2	Groupe 2 : chevaux « polyvalents ».....	98
2.2.3	Groupe 3 : chevaux de dressage.....	98
2.3	Analyse statistique .....	99
3	RESULTATS .....	102
3.1	Muscle droit de l'abdomen .....	102
3.1.1	Analyse graphique .....	102
3.1.2	Tests de comparaison des moyennes.....	104
3.1.3	Comparaisons multiples des moyennes .....	105
3.1.4	Conclusion .....	106
3.1.5	Etablissement d'une base de données des mesures du muscle droit de l'abdomen .....	106
3.2	Muscle multifide .....	107
3.2.1	Analyse graphique .....	107
3.2.2	Tests de comparaison des moyennes.....	109
3.2.3	Comparaisons multiples des moyennes .....	110
3.2.4	Normalisation de l'aire du muscle multifide par la hauteur du processus épineux	111
3.2.5	Conclusion .....	115
3.2.6	Etablissement d'une base de données des mesures du muscle multifide.....	115
3.3	Muscle longissimus.....	116
3.3.1	Analyse graphique .....	116
3.3.2	Tests de comparaison des moyennes.....	117
3.3.3	Normalisation de la hauteur du muscle longissimus par la hauteur du processus épineux .....	118
3.3.4	Conclusion .....	120
3.3.5	Etablissement d'une base de données des mesures du muscle longissimus.	120

4	DISCUSSION .....	121
4.1	Discussion sur le protocole .....	121
4.1.1	Choix des sites de réalisation des mesures .....	121
4.1.2	Répétabilité des mesures .....	121
4.1.3	Choix des chevaux utilisés pour l'étude .....	122
4.1.4	Représentativité des échantillons de chevaux .....	124
4.2	Discussion sur les résultats .....	124
4.2.1	Fiabilité des tests statistiques utilisés .....	124
4.2.2	Résultats de l'étude du muscle droit de l'abdomen .....	124
4.2.3	Résultats de l'étude du muscle multifide et du muscle longissimus .....	125
5	CONCLUSION .....	127
	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>128</b>
	<b>ANNEXES .....</b>	<b>130</b>
	<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>144</b>

## TABLE DES FIGURES

Figure 1: Segments et courbures de la colonne vertébrale (27).....	20
Figure 2: Segments de la colonne vertébrale du cheval (modifié d'après 51).....	21
Figure 3: Représentations schématiques de vertèbres de cheval (modifié d'après 51) .....	21
Figure 4: Segment cervical du cheval (vue latérale gauche) (modifié d'après 4) .....	22
Figure 5: Cinquième vertèbre cervicale du cheval (vue crâniale et caudale) (modifié d'après 4) .....	22
Figure 6: Segment thoracique du cheval (vue latérale gauche) (4) .....	23
Figure 7: Cinquième vertèbre thoracique du cheval (modifié d'après 4) .....	23
Figure 8: Segment lombaire du cheval (vue dorsale) (modifié d'après 4) .....	24
Figure 9: Segment lombaire du cheval (vue latérale gauche) (modifié d'après 4).....	24
Figure 10: Sacrum du cheval (vue latérale gauche) (modifié d'après 4).....	25
Figure 11: Sacrum du cheval (vues dorsale et ventrale) (modifié d'après 4) .....	26
Figure 12: Première vertèbre coccygienne du cheval (vue dorsale) (modifié d'après 4) .....	26
Figure 13: Articulations intervertébrales (modifié d'après 27).....	28
Figure 14: Ligament nuchal du cheval (modifié d'après 27).....	28
Figure 15: Charnières vertébrales et zones de mobilité minimale (modifié d'après 51).....	30
Figure 16: Muscle squelettique en section transversale : nombreux noyaux périphériques (flèches rouges) (32) .....	31
Figure 17: Structure du muscle squelettique (traduit d'après 49).....	32
Figure 18: Section d'une myofibrille montrant la striation transversale (traduit d'après 49) 32	32
Figure 19: Structure d'une myofibrille (traduit d'après 32) .....	33
Figure 20: Contractions musculaires isotoniques (9).....	34
Figure 21: Différents types d'activité musculaire (22) .....	35
Figure 22: Cycle d'activation des cellules satellites quiescentes (modifié d'après 65).....	36
Figure 23: Mécanismes d'hypertrophie musculaire, fibres musculaires vues en section transversale (80).....	37
Figure 24: Coupe transversale du cou d'un cheval passant par la cinquième vertèbre cervicale (modifié d'après 5).....	40
Figure 25: Coupe transversale de l'abdomen d'un cheval passant par la quatrième vertèbre lombaire (modifié d'après 74) .....	42
Figure 26: Coupe transversale de la paroi abdominale du cheval (77).....	43
Figure 27: Muscles de l'encolure et du tronc. Plan superficiel (27).....	44
Figure 28: Muscles de l'encolure et du tronc. Plan moyen (27).....	44
Figure 29: Muscles de l'encolure et du tronc. Plan profond (27) .....	45
Figure 30: Muscles juxta-vertébraux de l'encolure et du tronc (27) .....	45
Figure 31: Muscles actifs lors de flexion cervicale haute (27) .....	47
Figure 32: Muscles actifs lors de flexion cervicale basse (27).....	47
Figure 33: Muscles actifs lors d'extension cervicale haute (27).....	48
Figure 34: Muscles actifs lors d'extension cervicale basse (27).....	48
Figure 35: Muscles actifs lors de latéroflexion cervicale basse (27) .....	49
Figure 36: Flexions thoraco-lombaire et lombo-sacrée (27) .....	50
Figure 37: Flexion lombo-sacrée (27) .....	50
Figure 38: Extensions thoraco-lombaire et lombo-sacrée (27).....	51
Figure 39: Extension lombo-sacrée (27).....	51
Figure 40: Muscles actifs lors latéroflexion vertébrale (27).....	52
Figure 41: Chaînes musculaires du cheval (27).....	53
Figure 42: Décomposition du pas (37).....	55
Figure 43: Décomposition du trot (37) .....	56

Figure 44: Décomposition du galop à droite et à gauche (37).....	57
Figure 45: Cheval sur la main (37).....	59
Figure 46: Actions musculaires et courbures vertébrales d'un cheval au rassembler (27).....	61
Figure 47: Réalisation d'un appuyer au trot vers la droite (20).....	62
Figure 48: Appuyer à droite : protraction du bipède diagonal droit (76).....	63
Figure 49: Appuyer à droite : protraction du bipède diagonal gauche (76).....	64
Figure 50: Phases du saut (37).....	65
Figure 51: Phase d'appel : battue des antérieurs et des postérieurs (modifié d'après 42).....	65
Figure 52: Phase d'appel : soutènement puis détente des postérieurs (modifié d'après 42) ..	66
Figure 53: Phase ascendante, planer et phase descendante (modifié d'après 42).....	66
Figure 54: Cheval atteint de cyphose (14).....	70
Figure 55: Cheval atteint de lordose (14).....	70
Figure 56: Inspection de la ligne du dos du cheval (PRACH A.).....	75
Figure 57: Inspection du cheval de derrière (26).....	76
Figure 58: Asymétries du bassin (26).....	77
Figure 59: Latéroflexion cervicale haute passive (PRACH A.).....	79
Figure 60: Latéroflexion cervicale basse active (PRACH A.).....	80
Figure 61: Flexion cervicale basse active (PRACH A.).....	80
Figure 62: Test du surfaix (PRACH A.).....	81
Figure 63: Reculer (PRACH A.).....	82
Figure 64: Observation du cheval marchant en montée (PRACH A.).....	83
Figure 65: Observation du cheval marchant en descente (PRACH A.).....	83
Figure 66 : Conflit des processus épineux entre T14 et T15, diminution des espaces inter- épineux et irrégularité des sommets des processus épineux de T15 à T18 (VetAgro Sup, imagerie médicale).....	86
Figure 67 : Chevauchement et remodelage osseux des processus épineux T14 et T15 associés à une desmopathie et une enthésopathie du ligament supra-épineux (VetAgro Sup, imagerie médicale).....	88
Figure 68: Repérage des sites de mesures.....	95
Figure 69: Coupe anatomique transversale au niveau de l'articulation intervertébrale L2-L3 (modifié d'après 29).....	96
Figure 70: Images échographiques du muscle multifide (contours en rouge) et longissimus (hauteur tracée en vert) au niveau de la dernière vertèbre lombaire à gauche et à droite	96
Figure 71: Images échographiques du muscle droit de l'abdomen au point A1 à gauche et à droite.....	97
Figure 72: Cheval du groupe 2 en concours de saut d'obstacle (PRACH A.).....	98
Figure 73: Cheval du groupe 3 en concours de dressage (CONSTANTIN S.).....	99
Figure 74: Représentation graphique des mesures faites en A3 du cheval Phébus (Groupe 2) (avec 1D = opérateur 1 à droite, 1G = opérateur 1 à gauche, 2D = opérateur 2 à droite et 2G = opérateur 2 à gauche).....	100
Figure 75: Représentation graphique des valeurs moyennes de A1 des 3 groupes.....	102
Figure 76: Représentation graphique des valeurs moyennes de A2 des 3 groupes.....	103
Figure 77: Représentation graphique des valeurs moyennes de A3 des 3 groupes.....	103
Figure 78: Diagramme en bâtons présentant les moyennes des 3 groupes.....	104
Figure 79: Représentation graphique des valeurs moyennes de M1 des 3 groupes.....	107
Figure 80: Représentation graphique des valeurs moyennes de M2 des 3 groupes.....	108
Figure 81: Représentation graphique des valeurs moyennes de M3 des 3 groupes.....	108
Figure 82: Diagramme en bâtons présentant les moyennes des 3 groupes.....	109
Figure 83 : Représentation graphique de l'aire du muscle multifide en fonction de la hauteur du processus épineux au point M1.....	112
Figure 84: Représentation graphique de l'aire du muscle multifide en fonction de la hauteur du processus épineux au point M2.....	112

Figure 85 : Représentation graphique de l'aire du muscle multifide en fonction de la hauteur du processus épineux au point M3.....	113
Figure 86 : Représentation graphique des valeurs moyennes de M1/PE1 des 3 groupes.....	114
Figure 87 : Représentation graphique des valeurs moyennes de M2/PE2 des 3 groupes.....	114
Figure 88 : Représentation graphique des valeurs moyennes de L des 3 groupes.....	116
Figure 89 : Diagramme en bâtons présentant les moyennes des 3 groupes.....	117
Figure 90 : Représentation graphique de la hauteur du muscle longissimus en fonction de la hauteur du processus épineux au niveau de la dernière vertèbre lombaire.....	118
Figure 91 : Représentation graphique des valeurs moyennes de L/PE3 des 3 groupes.....	119

# TABLE DES TABLEAUX

Tableau I : Mobilité régionale de la colonne vertébrale au pas (modifié d'après 87) .....	55
Tableau II: Mobilité régionale de la colonne vertébrale au trot (modifié d'après 87) .....	56
Tableau III: Mobilité régionale de la colonne vertébrale au galop (modifié d'après 87) .....	58
Tableau IV: Conduite de l'examen clinique afin de déterminer les interférences entre dorsalgie et boiterie (modifié d'après 31) .....	74
Tableau V: Valeurs moyennes, minimales et maximales des 3 groupes pour A1, A2 et A3 .	104
Tableau VI: Résultats des tests de comparaison des moyennes des 3 groupes aux points A1, A2 et A3 .....	105
Tableau VII: Résultats des tests de comparaison 2 à 2 des moyennes des 3 groupes au point A1 .....	105
Tableau VIII: Résultats des tests de comparaison 2 à 2 des moyennes des 3 groupes au point A2 .....	105
Tableau IX: Résultats des tests de comparaison 2 à 2 des moyennes des 3 groupes au point A 3 .....	106
Tableau X : Base de données des mesures de l'épaisseur du muscle droit de l'abdomen....	107
Tableau XI: Valeurs moyennes, minimales et maximales des 3 groupes pour M1, M2 et M3 .....	109
Tableau XII: Résultats des tests de comparaison des moyennes des 3 groupes aux points M1, M2 et M3.....	110
Tableau XIII: Résultats des tests de comparaison 2 à 2 des moyennes des 3 groupes au point M1 .....	110
Tableau XIV: Résultats des tests de comparaison 2 à 2 des moyennes des 3 groupes au point M2 .....	110
Tableau XV: Résultats des tests de comparaison 2 à 2 des moyennes des 3 groupes au point M3 .....	111
Tableau XVI : Résultats des tests non paramétriques de corrélation linéaire aux points M1 et M2 .....	113
Tableau XVII : Valeurs moyennes du rapport de l'aire du muscle multifide sur la hauteur du processus épineux .....	115
Tableau XVIII : Base de données des rapports de l'aire du muscle multifide sur la hauteur du processus épineux .....	116
Tableau XIX : Valeurs moyennes, minimales et maximales des 3 groupes pour L .....	117
Tableau XX : Résultats du test de comparaison des moyennes des 3 groupes au point L.....	117
Tableau XXI : Résultats du test non paramétrique de corrélation linéaire au point L.....	119
Tableau XXII : Valeurs moyennes des trois groupes du rapport de la hauteur du muscle longissimus sur celle du processus épineux.....	120
Tableau XXIII : Base de données des mesures du muscle longissimus .....	120



# INTRODUCTION

Le cheval, autrefois animal de travail, puis animal de loisir et de compagnie est aujourd'hui principalement utilisé pour le sport et est devenu un athlète à part entière. Certains chevaux participent à des courses de trot (monté ou attelé), de galop (de plat ou d'obstacles) ou d'endurance, tandis que d'autres prennent part à des compétitions de dressage, de saut d'obstacles ou de concours complet. L'entraînement de ces chevaux porte sur la mise en condition pour une meilleure aptitude à l'effort et une bonne récupération, et sur la gymnastique physique, visant à augmenter l'efficacité de la contraction et de la coordination musculaire. Le système musculaire est le premier à être impliqué lors de la réalisation d'un exercice sportif, notamment celui du dos, dont la mobilité et la flexibilité sont essentielles. L'entraîneur et le cavalier doivent lui accorder une grande attention et posséder des notions de biomécanique afin de mettre en place un programme d'entraînement adapté à chaque cheval, visant à mettre en valeur les qualités du cheval et à compenser ses défauts.

Les dorsalgies représentent une cause majeure de baisse de performance et d'irrégularité d'allures chez les chevaux de sport et de course. L'intégrité du dos des chevaux de sport est donc particulièrement importante pour les propriétaires et les entraîneurs. Ces problèmes sont souvent insidieux, récurrents et difficiles à diagnostiquer avec des signes cliniques très variés. Le clinicien doit faire face lors de l'investigation d'une dorsalgie à de nombreux facteurs limitants. De plus, le traitement de la dorsalgie ne peut être mis en place qu'après une identification précise du problème. Enfin il existe peu de moyens de suivre l'évolution du cheval dorsalgique après l'instauration d'un traitement.

La colonne vertébrale du cheval peut être comparée à un pont horizontal tendu entre les membres antérieurs et les membres postérieurs. Elle participe à la locomotion, supporte le poids de la selle et du cavalier et jouit d'une relative souplesse. La connaissance de l'anatomie du rachis et de son fonctionnement au travers de notions de biomécanique est capitale. Il est important de s'intéresser à toute la longueur du dos, de la nuque à la queue, puisque la position de la tête et de l'encolure du cheval a une grande influence sur la cinématique des segments thoracique, lombaire et sacré et sur la locomotion du cheval. Ces pré-requis sont fondamentaux pour le diagnostic et le traitement des dorsalgies.

La seconde partie de ce travail est expérimentale et propose une évaluation des muscles mobilisateurs du rachis par mesures échographiques et une comparaison de ceux-ci en fonction du type de travail demandé au cheval. En effet les contraintes appliquées sur la colonne vertébrale ne sont pas les mêmes lorsque le cheval réalise un exercice de dressage ou parcours d'obstacles.



## **PREMIERE PARTIE :**

### **Anatomie, biomécanique et pathologies de la colonne vertébrale du cheval**



# **PREMIERE PARTIE : Anatomie, biomécanique et pathologies de la colonne vertébrale du cheval**

## **1 ANATOMIE DU RACHIS DU CHEVAL**

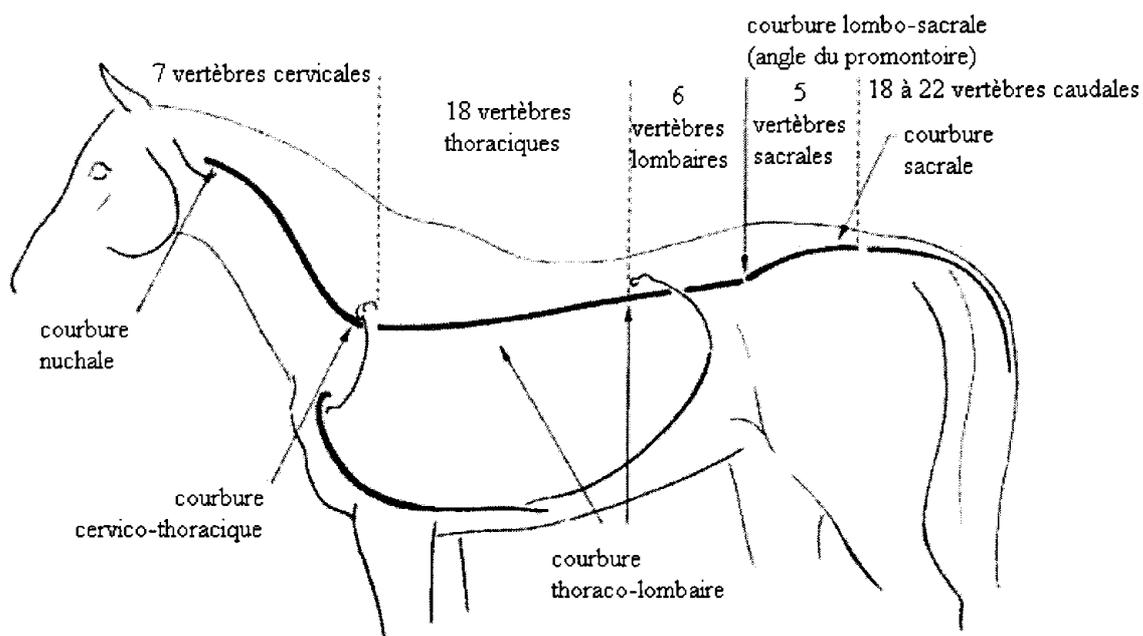
### **1.1 Ostéologie du rachis**

#### **1.1.1 Caractères généraux**

(4), (18), (27), (51), (71)

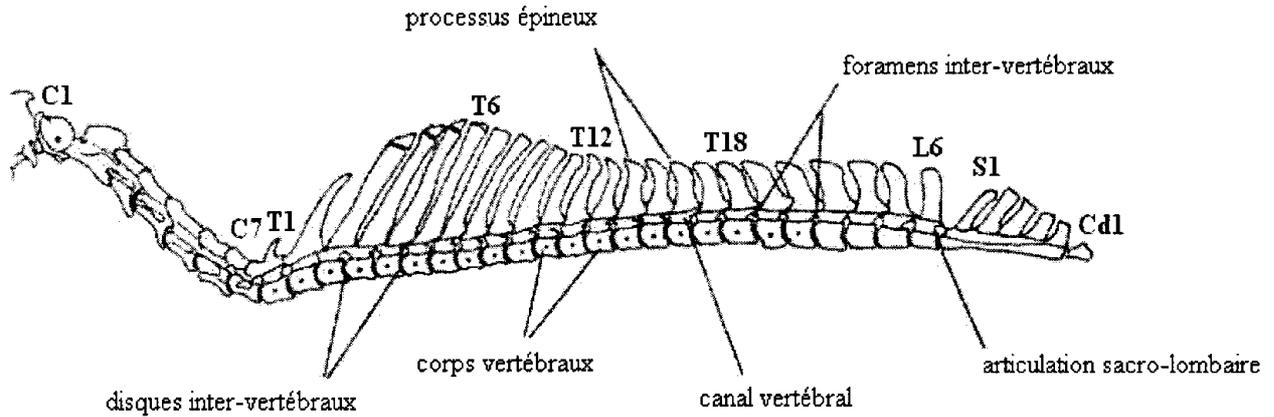
Le rachis représente l'axe anatomique, fonctionnel et mécanique du squelette. Il est formé par l'assemblage d'os impairs: les vertèbres. La colonne vertébrale porte la tête à son extrémité crâniale et se termine par la base de la queue à son extrémité caudale. Elle est creusée par le canal vertébral où se situent des vaisseaux et la moelle épinière, d'où émergent les nerfs rachidiens qui quittent le canal par les trous intervertébraux.

Le rachis présente plusieurs courbures (figure 1): une courbure cervicale haute ou courbure nuchale (os occipital-C3) à concavité ventrale, une courbure cervicale basse ou courbure cervico-thoracique (C4-T4) à concavité dorsale, une courbure thoraco-lombaire (T5-L6) peu marquée à concavité ventrale, une courbure lombo-sacrale très marquée (L6-S1) à concavité dorsale formant le promontoire et une courbure sacrale légèrement concave ventralement.

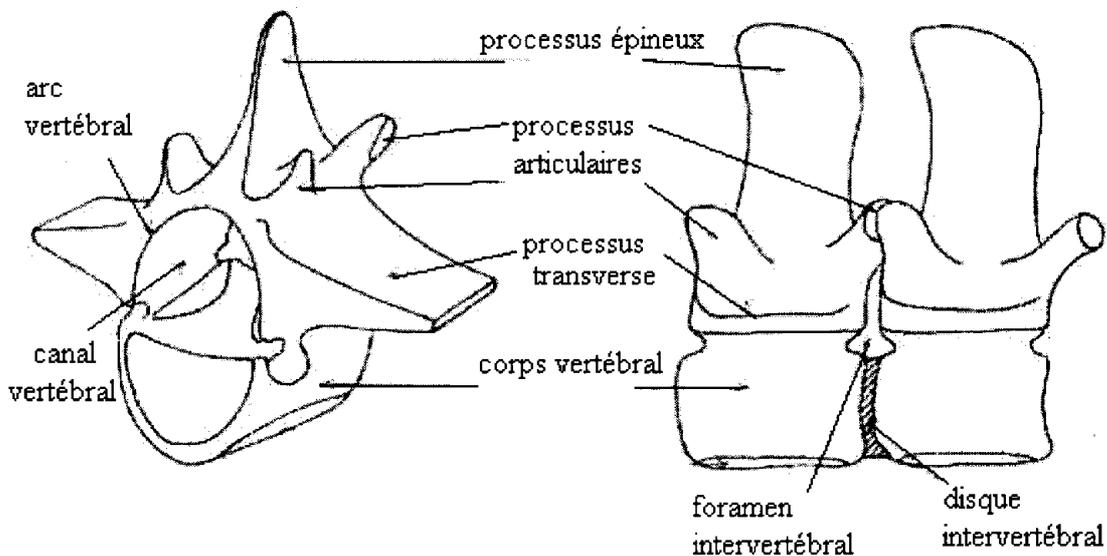


**Figure 1: Segments et courbures de la colonne vertébrale (27)**

La colonne vertébrale présente cinq segments au sein desquels les vertèbres ont leurs propres caractéristiques: cervical, thoracique, lombaire, sacral et coccygien (figures 1 et 2). Chaque vertèbre est formée d'un corps vertébral situé sous le canal vertébral et surmonté d'un arc vertébral. Celui-ci porte les processus épineux, transverses et articulaires (figure 3). Certains chevaux possèdent des vertèbres de transition, situées entre deux régions vertébrales adjacentes possédant les caractéristiques des deux régions. Ces vertèbres de transition sont principalement cervico-thoraciques (au niveau de C7 surtout), thoraco-lombaires et lombo-sacrals.



**Figure 2: Segments de la colonne vertébrale du cheval (modifié d'après 51)**



**Figure 3: Représentations schématiques de vertèbres de cheval (modifié d'après 51)**

### 1.1.2 Vertèbres cervicales

(4), (18), (27), (71), (78)

Le segment cervical comporte sept vertèbres (figure 4). Il constitue la base de l'encolure. Les deux premières vertèbres: l'atlas et l'axis sont très modifiées en adaptation au support et aux mouvements de la tête. Les cinq autres vertèbres sont longues et épaisses. Les

extrémités crâniale et caudale sont très marquées favorisant la mobilité de l'encolure tandis que les processus épineux et transverses sont peu saillants (figure 5).

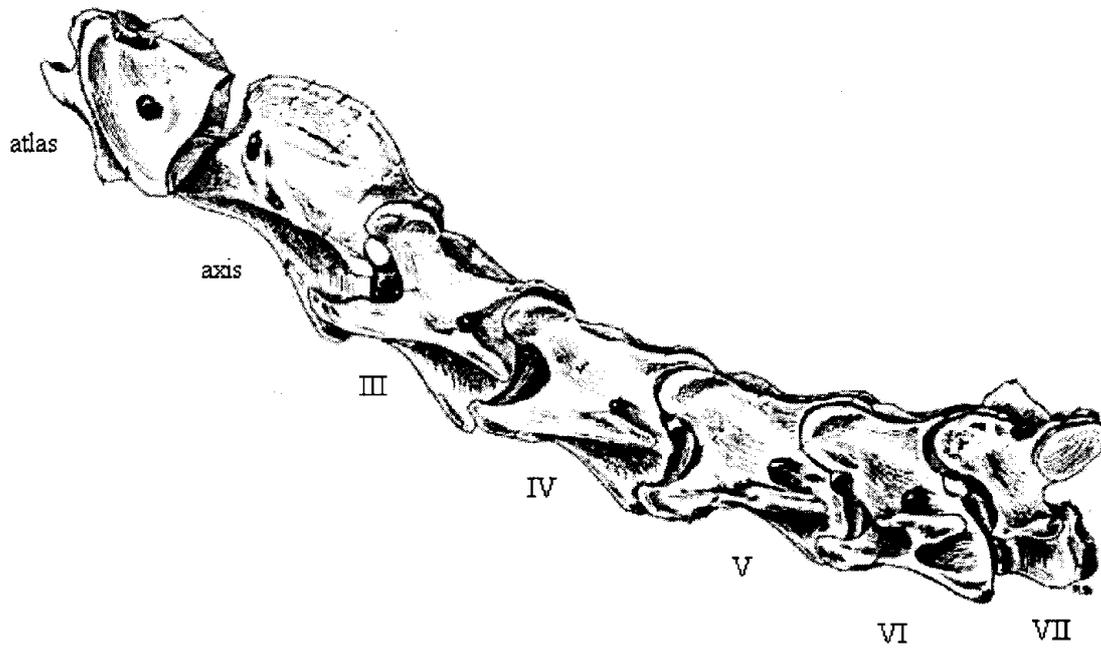


Figure 4: Segment cervical du cheval (vue latérale gauche) (modifié d'après 4)

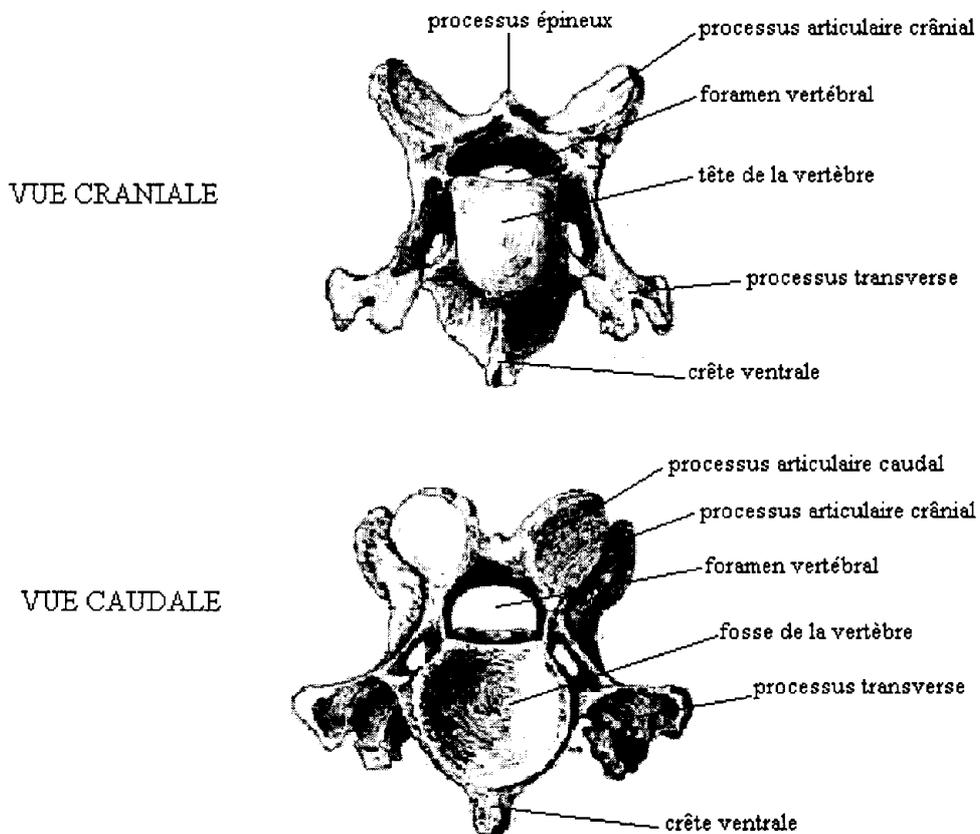


Figure 5: Cinquième vertèbre cervicale du cheval (vues crâniale et caudale) (modifié d'après 4)

### 1.1.3 Vertèbres thoraciques

(4), (18), (27), (71)

Le cheval possède dix-huit vertèbres thoraciques. Elles s'articulent avec les côtes et forment l'axe du thorax (figure 6). Le corps vertébral est court et l'arc vertébral est de petite taille. Les processus épineux sont très longs notamment au niveau des vertèbres T3 et T4 où ils forment le sommet du garrot, puis leur taille diminue progressivement jusqu'à T15. Ils sont inclinés vers l'arrière jusqu'à la vertèbre anticlinale (T15) où s'inverse l'inclinaison. Les processus articulaires et transverses sont courts et peu saillants (figure 7).

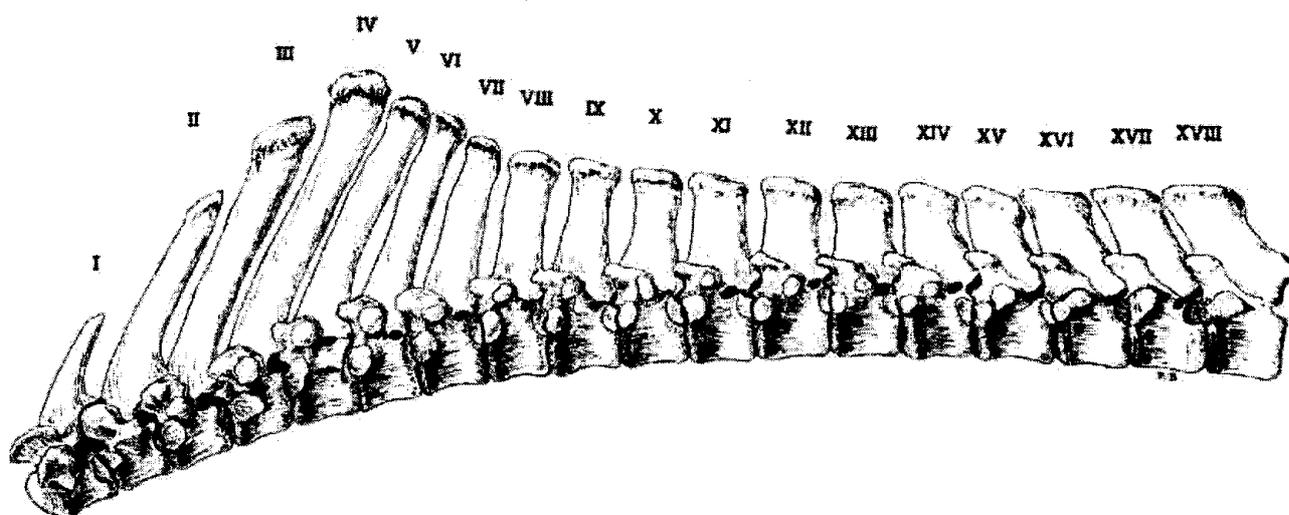


Figure 6: Segment thoracique du cheval (vue latérale gauche) (4)

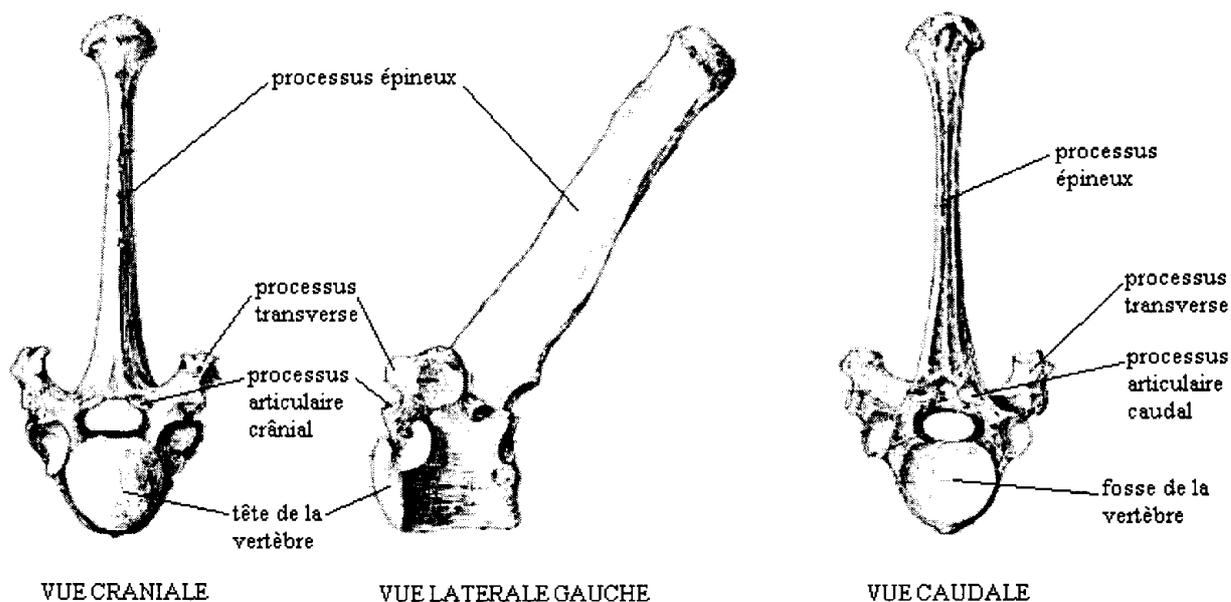


Figure 7: Cinquième vertèbre thoracique du cheval (modifié d'après 4)

### 1.1.4 Vertèbres lombaires

(4), (18), (27), (71)

Le segment lombaire est composé de six vertèbres, parfois cinq. Les vertèbres lombaires se caractérisent principalement par leurs processus transverses très saillants, larges et aplatis dorso-ventralement. Leur longueur augmente jusqu'à la troisième vertèbre lombaire puis diminue. Elles portent des processus mamillaires, surmontant les processus articulaires crâniens (figures 8 et 9).

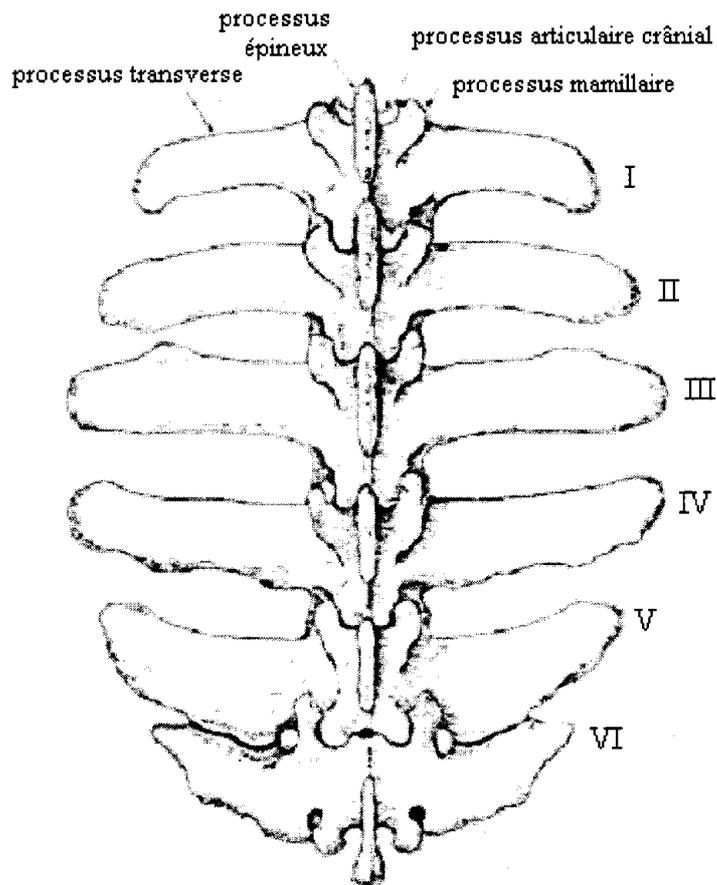


Figure 8: Segment lombaire du cheval (vue dorsale) (modifié d'après 4)

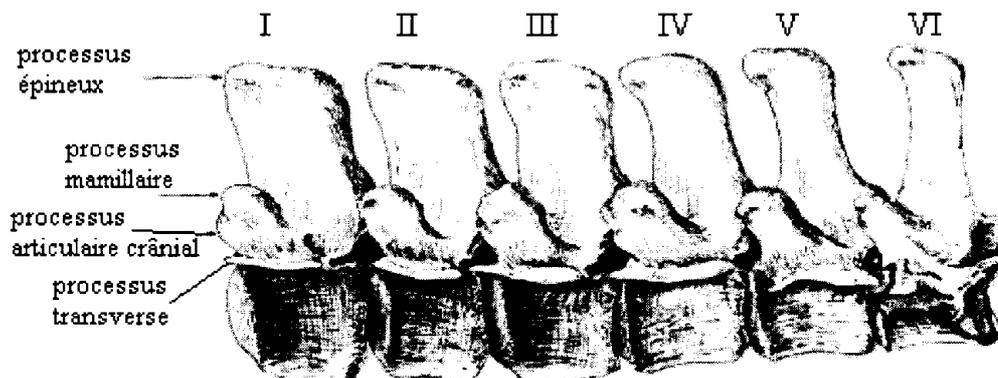


Figure 9: Segment lombaire du cheval (vue latérale gauche) (modifié d'après 4)

### 1.1.5 Sacrum

(4), (18), (27), (71)

Le sacrum, os impair, résulte de la fusion des cinq vertèbres sacrales (parfois quatre ou six vertèbres sacrales) à l'âge de quatre ou cinq ans. Il a une forme de trapèze, élargi en région crâniale et aplati de haut en bas. Les processus épineux sont inclinés vers l'arrière et forment la crête sacrale médiane. Le premier processus transverse est étiré transversalement et pointu à son extrémité formant l'aile du sacrum, en contact avec l'ilium. Le sacrum est solidarisé aux iliums droit et gauche par les ligaments sacro-iliaques (figures 10 et 11).

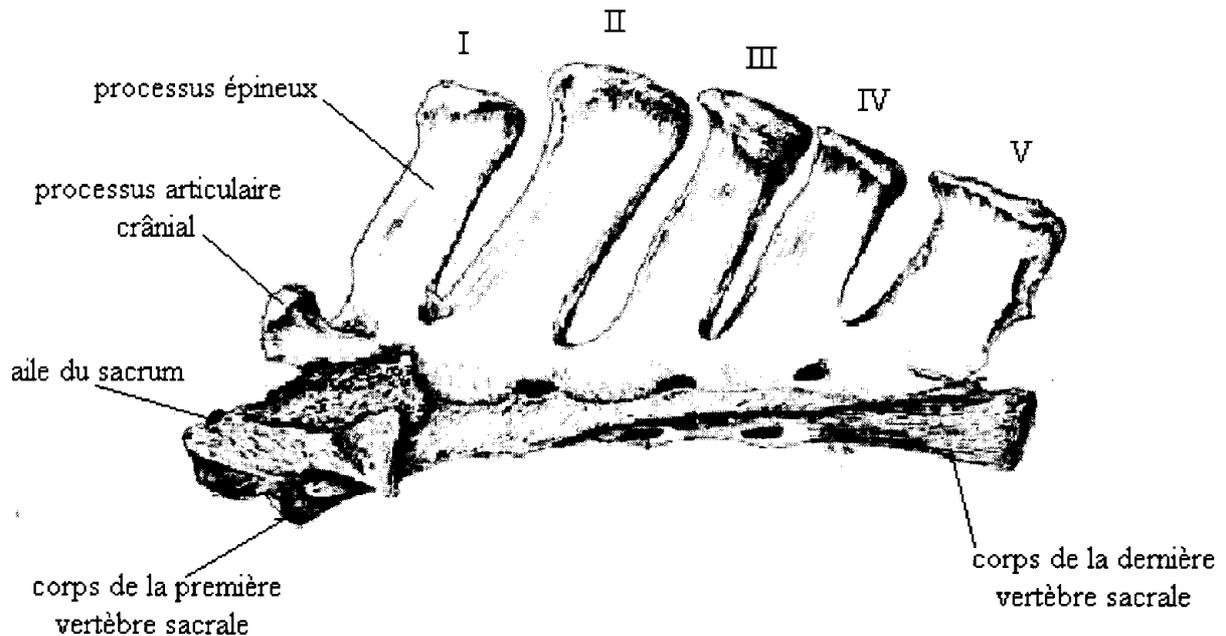


Figure 10: Sacrum du cheval (vue latérale gauche) (modifié d'après 4)

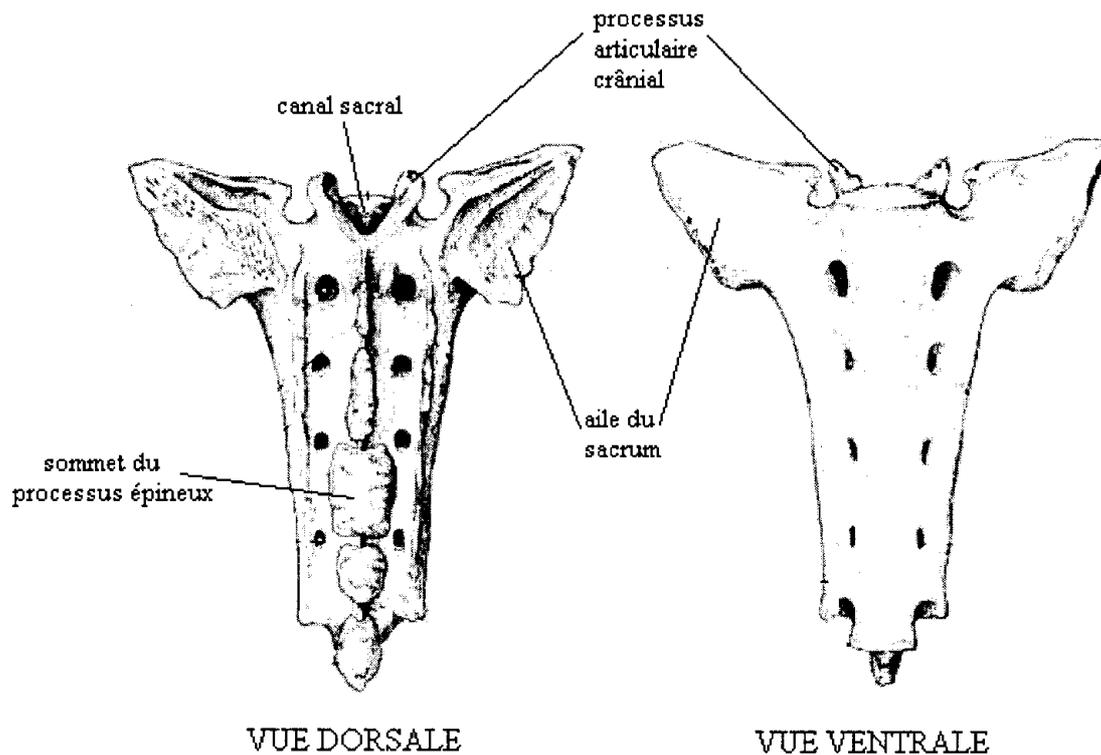


Figure 11: Sacrum du cheval (vues dorsale et ventrale) (modifié d'après 4)

### 1.1.6 Vertèbres coccygiennes

(4), (18), (27), (71)

Elles sont au nombre de dix-huit à vingt-deux et constituent la base osseuse de la queue. Elles diminuent régulièrement de taille et se simplifient de la première à la dernière vertèbre. Leur corps est allongé et étranglé en son milieu. L'arc se réduit progressivement puis disparaît par écartement et réduction des lames vertébrales (figure 12).

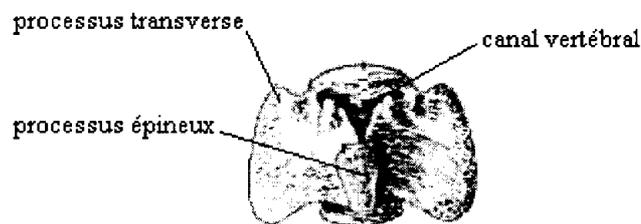


Figure 12: Première vertèbre coccygienne du cheval (vue dorsale) (modifié d'après 4)

## 1.2 Arthrologie du rachis

(5), (18), (27)

L'axe vertébral réunit deux propriétés lui permettant d'assurer ses fonctions dans le

maintien du corps et dans la locomotion: il est à la fois rigide et flexible. Ceci est permis par la morphologie des articulations intervertébrales. Le schéma de constitution globale des articulations est le même de la deuxième vertèbre cervicale à la dernière vertèbre sacrée. Elles sont unies par leur corps et par leur arc et bénéficient également d'une importante contention musculaire. Cependant, quelques articulations ont une organisation particulière, notamment celles entre les premières vertèbres cervicales, entre les vertèbres lombaires, entre les vertèbres sacrées et entre les vertèbres coccygiennes.

### 1.2.1 Articulations des corps vertébraux

(5), (18), (27), (71), (75), (78)

Les articulations des corps vertébraux sont des symphyses. La tête vertébrale convexe de chaque vertèbre répond à la fosse vertébrale concave de la vertèbre précédente. Les moyens d'union sont les suivants (figure 13):

- le **disque intervertébral**: très mince chez le cheval (sauf en région cervicale et dans l'espace lombo-sacral). C'est un ligament interosseux fibro-cartilagineux situé entre la tête et la fosse vertébrales, formé d'un noyau pulpeux incompressible entouré d'un anneau fibreux.
- le **ligament longitudinal dorsal**: mince et faible ruban fibreux s'insérant sur la face dorsale du corps vertébral. Il présente peu de valeur fonctionnelle.
- le **ligament longitudinal ventral**: long et fort cordon fibreux s'attachant le long du bord ventral du corps vertébral et du disque intervertébral. Très mince en région cervicale chez le cheval, il est remplacé par le puissant muscle long du cou.

### 1.2.2 Articulations des arcs vertébraux

(5), (18), (27), (71), (75), (78)

Les articulations des arcs vertébraux sont permises par des diarthroses entre les processus articulaires crâniens et caudaux (effacés en région thoracique) et par des ligaments réunissant les reliefs vertébraux (figure 13):

- le **ligament inter-lamellaire**: il unit les bords des arcs vertébraux fermant les espaces latéraux entre les vertèbres.
- le **ligament inter-épineux**: il est disposé dans l'espace compris entre deux processus épineux et les unit deux à deux. Il est cependant constitué de trois plans de fibres à orientations croisées et permet ainsi l'écartement des processus épineux.
- le **ligament supra-épineux et le ligament nuchal**: le ligament supra-épineux est fort et élastique, il joint les sommets des processus épineux. Il est très peu extensible en région lombaire.

Sa partie cervicale se différencie et forme chez le cheval le ligament nuchal constitué de deux parties: la corde et la lame (figure 14). La corde prolonge le ligament supra-épineux à partir des processus épineux thoraciques jusqu'à la protubérance occipitale crâniale. La lame est aplatie et épaisse, elle joint les processus épineux cervicaux à la

corde. Le ligament nuchal a un rôle primordial dans l'ensemble de la mécanique vertébrale. Son élasticité lui permet d'assurer la composante passive du soutien du balancier cervico-céphalique en association avec les muscles cervicaux dorsaux en statique et en dynamique. Il participe également à la coordination des mouvements de l'encolure et du pont vertébral en synergie avec le ligament supra-épineux.

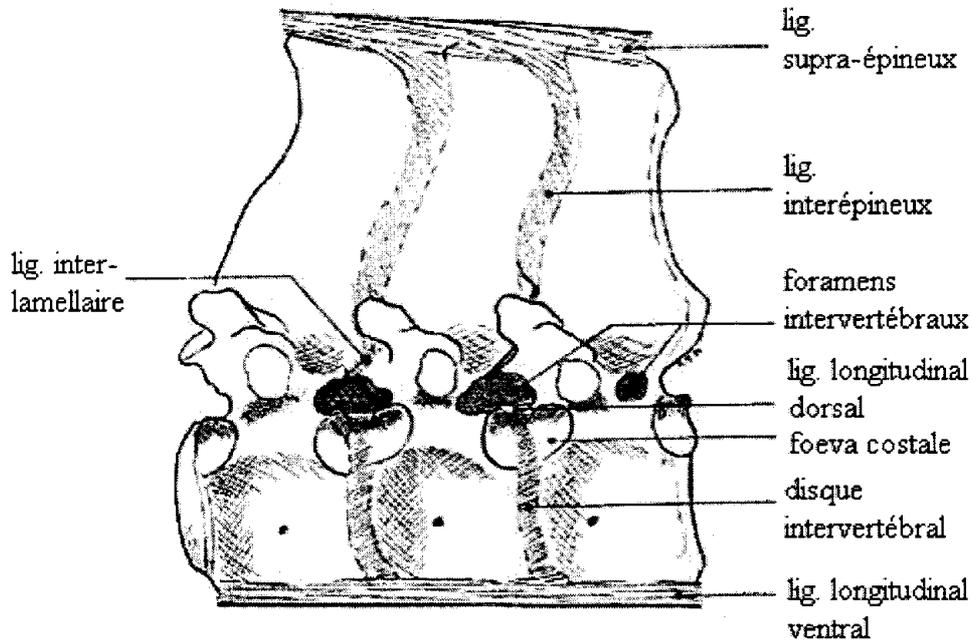


Figure 13: Articulations intervertébrales (modifié d'après 27)

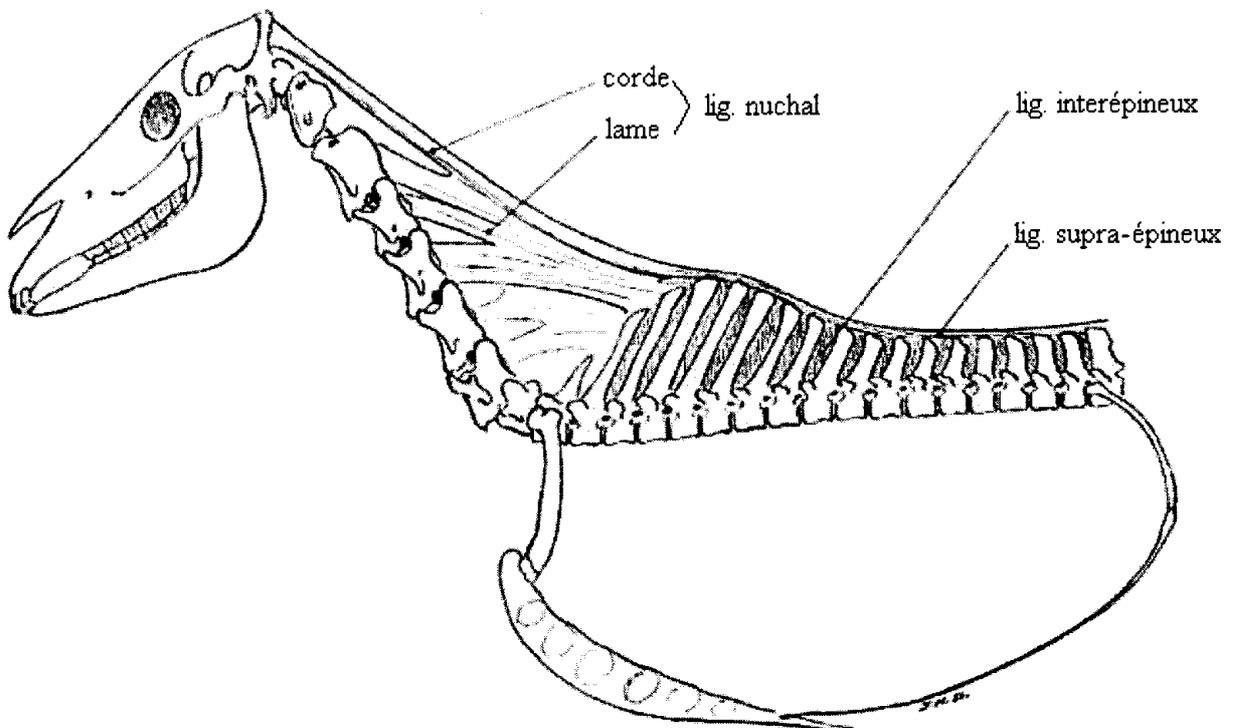


Figure 14: Ligament nuchal du cheval (modifié d'après 27)

### 1.2.3 Articulations vertébrales particulières

(5), (18), (27), (71), (75)

Les articulations intervertébrales lombaires, sacrales et coccygiennes présentent des particularités.

**Les articulations intervertébrales lombaires** sont caractérisées par la présence d'articulations mixtes synoviales et fibreuses entre les processus transverses des cinquième et sixième vertèbres lombaires (chez 60% des chevaux) qui ont tendance à s'ossifier (dans 40% des cas) et entre la sixième vertèbre lombaire et les ailes du sacrum (chez tous les chevaux) qui ne s'ossifient jamais.

**Les articulations intervertébrales sacrales** sont des synostoses. Les cinq vertèbres sont soudées entre elles.

**Les articulations intervertébrales coccygiennes** sont simplifiées. Les vertèbres ne sont unies que par leur corps aux deux extrémités convexes et par de gros disques intervertébraux biconcaves.

### 1.2.4 Mouvements de la colonne vertébrale

(5), (16), (18), (27), (71), (75), (78), (83), (84)

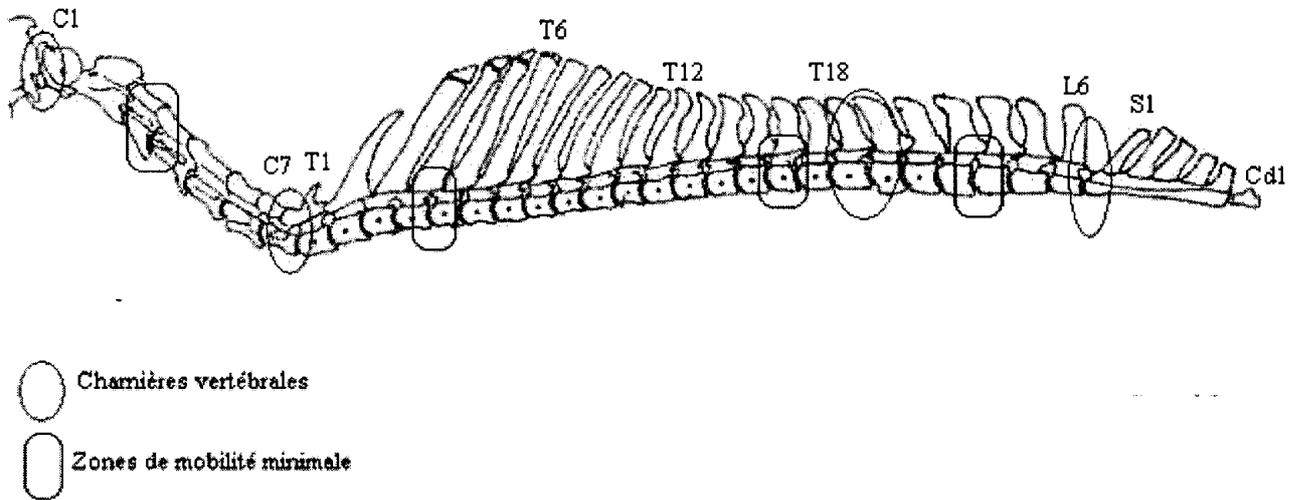
Les articulations intervertébrales n'autorisent que des mouvements limités. Leur sommation permet la réalisation de mouvements d'ensemble de **flexion** (la colonne vertébrale se voûte dorsalement, induisant une convexité dorsale), **extension** (la colonne devient rectiligne voire présente une convexité ventrale), **inclinaison latérale ou latéroflexion** (la colonne décrit un arc de côté) et **rotation** (déplacement angulaire autour de l'axe vertébral, mouvement limité chez le cheval où la colonne subit une torsion dans un plan transversal).

Il existe de grandes variations de mobilité entre les segments vertébraux, dues aux différences de forme des vertèbres, et notamment aux formes des processus épineux et articulaires. La morphologie des articulations intervertébrales et la mobilité des différentes régions du rachis sont donc étroitement liées. La région cervicale réalise d'importants mouvements de flexion et extension. Au niveau du segment thoracique, les mouvements principaux sont les mouvements de latéroflexion. En région lombaire, les mouvements de flexion et extension prédominent, avec des mouvements de rotation. De faibles mouvements de flexion et extension existent au niveau du sacrum. Enfin, la queue est le siège de nombreux mouvements de grande amplitude de flexion, d'extension et de latéroflexion.

Les segments les plus mobiles s'appuient sur les moins mobiles (figure 15). Les zones de mobilité maximale sont des charnières vertébrales. Il en existe quatre: les jonctions céphalo-cervicale, cervico-thoracique, thoraco-lombaire et lombo-sacrale. La grande mobilité de la colonne cervicale en fait la région du rachis la plus exposée aux traumatismes, faux mouvements et mauvaises postures.

Les zones les moins mobiles correspondent aux zones d'inversion de sens des courbures: le passage de la courbure cervicale haute à la courbure cervicale basse au niveau de C3-C4, le passage de la courbure cervicale basse à la courbure thoraco-lombaire en T4-T5, la zone entourant la vertèbre anticlinale T15 et le segment lombaire, surtout en son milieu

L3-L4. Les articulations entre les processus transverses des vertèbres lombaires sont responsables de la grande rigidité du segment lombaire du cheval permettant de transmettre l'effort de propulsion. Cette rigidité est compensée par la grande mobilité de la jonction lombo-sacrée.



**Figure 15: Charnières vertébrales et zones de mobilité minimale (modifié d'après 51)**

### **1.3 Myologie du rachis**

(18)

Le bon fonctionnement de la colonne vertébrale du cheval est permis par la contraction et le relâchement de plusieurs groupes de muscles striés squelettiques spécifiques. Les muscles mobilisateurs de l'axe vertébral sont les muscles de l'encolure et du tronc. Ils représentent la musculature axiale et sont divisés en deux grands systèmes : les muscles juxta-vertébraux profonds qui permettent le contrôle de la posture et la régulation du tonus musculaire, et les muscles para-vertébraux superficiels qui sont à l'origine de la mobilisation axiale. Les muscles juxta-vertébraux s'étendent obliquement sur deux ou trois vertèbres et se succèdent les uns aux autres de la nuque au sacrum.

#### **1.3.1 Physiologie du tissu musculaire strié squelettique**

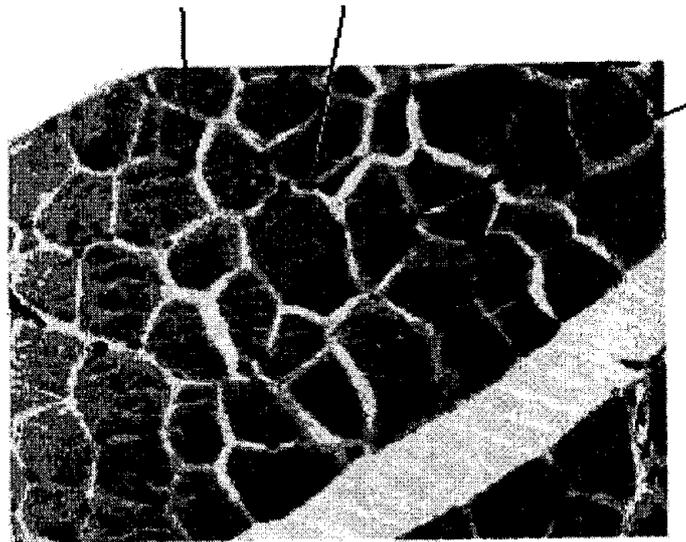
Les muscles mobilisant l'axe vertébral mis en jeu lors de la locomotion du cheval appartiennent au tissu musculaire strié squelettique. Nous étudierons leur morphologie ainsi que leur physiologie, principalement en réponse à un entraînement. Les muscles striés squelettiques sont rattachés aux os par les tendons et enveloppent les articulations. Ils possèdent quatre propriétés : l'élasticité, la contractilité, l'extensibilité et l'excitabilité.

##### **1.3.1.1 Morphologie du tissu musculaire strié squelettique**

(32), (49), (61)

Le muscle strié squelettique est constitué de faisceaux de cellules parallèles regroupées par du tissu conjonctif. Ce tissu conjonctif est lâche et permet la circulation des capillaires sanguins et des nerfs. L'épimysium est le tissu conjonctif recouvrant le muscle dans son ensemble, le périnysium entoure les différents faisceaux de fibres, tandis que l'endomysium se situe autour de chaque fibre musculaire. Chaque faisceau est relié à au moins un nerf moteur, cet ensemble est une unité motrice.

Les cellules musculaires squelettiques, ou fibres musculaires, sont cylindriques et composées de plusieurs myofibrilles parallèles, entourées par le sarcolemme. Elles ont un diamètre allant de dix à cent micromètres et une longueur allant de quelques millimètres dans les plus petits muscles à plus de dix centimètres dans les muscles les plus longs. Elles possèdent de multiples noyaux périphériques (de quelques centaines à plusieurs milliers). Leur cytosquelette est très différencié, les cellules musculaires squelettiques sont donc incapables de se diviser (figure 16).



**Figure 16: Muscle squelettique en section transversale : nombreux noyaux périphériques (flèches rouges) (32)**

Les **myofibrilles** sont de très longs et minces filaments contractiles caractéristiques des cellules musculaires. Elles ont une structure basée sur la répétition d'une unité: le **sarcomère**. Elles sont constituées de myofilaments parallèles les uns aux autres (figure 17).

En vue longitudinale, une striation transversale est observable. Il s'agit d'une alternance régulière de bandes sombres et de bandes claires. Elle est due à l'existence de deux types de myofilaments: les **filaments épais de myosine** et les **filaments fins d'actine**. Les éléments les plus fins peuvent glisser entre les filaments les plus épais. Ainsi la bande claire, aussi appelée **bande I** est formée par les filaments d'actine seuls tandis que la bande sombre, aussi appelée **bande A** est formée par la superposition des deux types de filaments. Les bandes I sont divisées transversalement en leur milieu par une ligne sombre appelée ligne Z. Le sarcomère est le segment compris entre deux lignes Z. Il représente l'unité fonctionnelle de contraction (figures 18 et 19).

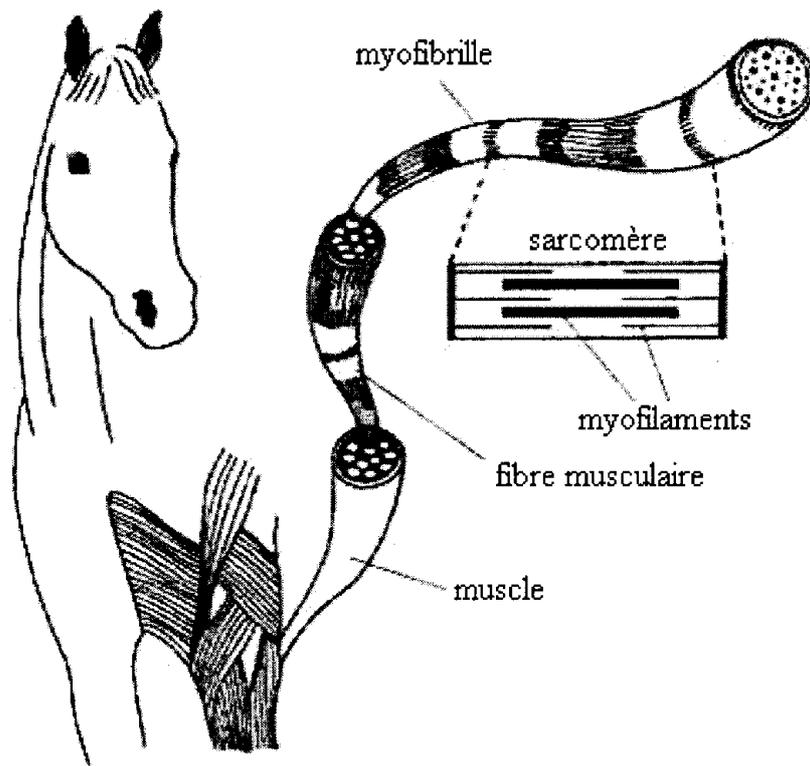


Figure 17: Structure du muscle squelettique (traduit d'après 49)

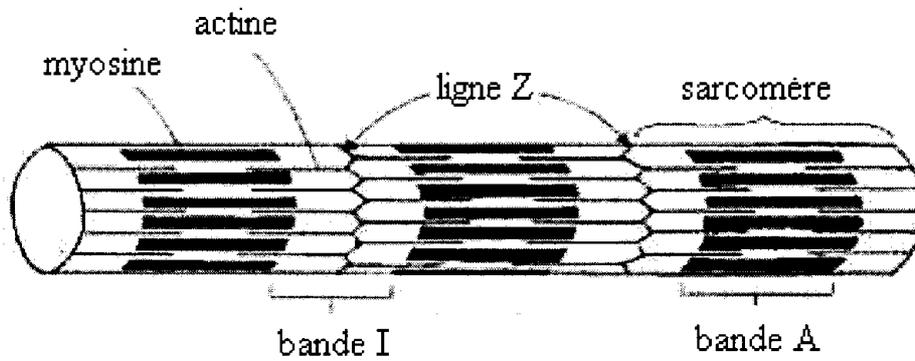
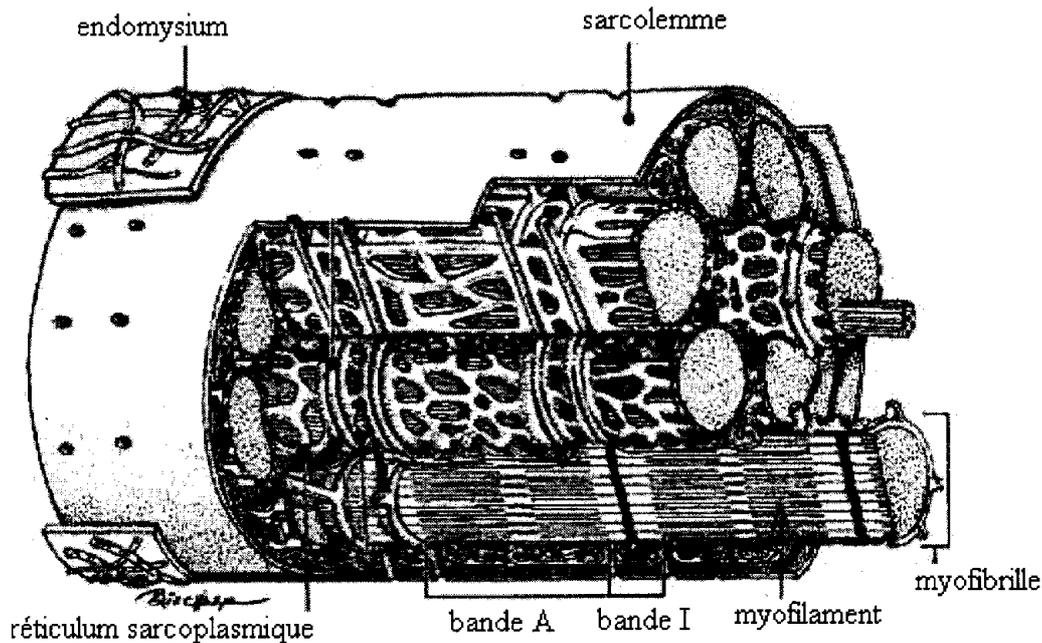


Figure 18: Section d'une myofibrille montrant la striation transversale (traduit d'après 49)



**Figure 19: Structure d'une myofibrille (traduit d'après 32)**

Tous les muscles striés n'ont pas la même couleur. Il existe en effet deux types de fibres musculaires: les fibres musculaires de type I, dites lentes et les fibres musculaires de type II, dites rapides. Les premières sont de couleur rouge, tandis que les secondes sont blanches. Elles sont la plupart du temps mêlées en proportions variables à l'intérieur d'un même muscle. Le nombre et le type de fibres musculaires de chaque individu est déterminé génétiquement.

Les **fibres musculaires de type I** ont de nombreuses mitochondries qui fournissent l'énergie nécessaire à la contraction sous forme d'adénosine triphosphate et de grandes réserves lipidiques. Elles sont également riches en myoglobine, qui stocke l'oxygène et leur donne une couleur rouge. Elles sont entourées de nombreux capillaires sanguins. Elles sont efficaces en métabolisme aérobie et sont les fibres de l'endurance. Elles permettent le maintien de la posture et l'exercice à faible vitesse.

Les **fibres musculaires de type II** sont riches en glycogène et en enzyme glycolytique qui leur donne une couleur blanche. Elles sont pauvres en mitochondries et en myoglobine. Elles sont efficaces en métabolisme anaérobie. Elles permettent l'accélération rapide et les mouvements comme le saut d'obstacle.

### **1.3.1.2 Contraction du muscle strié squelettique**

(9), (22), (24), (32), (46), (49), (61)

La contraction du muscle strié squelettique résulte de la contraction coordonnée de chacune des cellules du muscle. Elle est sous le contrôle de nerfs moteurs et nécessite de l'énergie pour faire glisser les myofilaments entre eux. Elle est initiée par l'arrivée d'un message nerveux au niveau de la membrane cellulaire. Il permet l'entrée de calcium dans la cellule musculaire, nécessaire à sa contraction. Celle-ci est réalisée par glissement du myofilament fin par rapport au myofilament épais grâce à la

fixation et à l'utilisation d'une molécule d'adénosine triphosphate par la myosine du myofilament épais.

Il existe trois types de contractions musculaires (figure 21):

- la **contraction isotonique concentrique** (figure 20): elle conduit à un rapprochement des extrémités du muscle qui se raccourcit. Cette activité musculaire permet l'ouverture des angles articulaires dans la propulsion.
- la **contraction isotonique excentrique** (figure 20): elle s'oppose à un mouvement ou à une force, les extrémités du muscle s'éloignent, le muscle s'allonge. Elle limite la fermeture des angles articulaires intervenant dans les mouvements d'amortissement. Ce type de travail est celui qui développe le plus la puissance du muscle et son efficacité dans la détente.
- la **contraction isométrique**: il n'y a pas de mouvement. La tension du muscle augmente mais sa longueur ne change pas. Elle est assez rare dans les disciplines équestres. Elle intervient pour régler la position de certaines régions du corps du cheval dans l'exécution d'exercices définis, notamment dans le placement de la tête et de l'encolure et dans la flexion du bassin lors du travail du cheval de dressage.

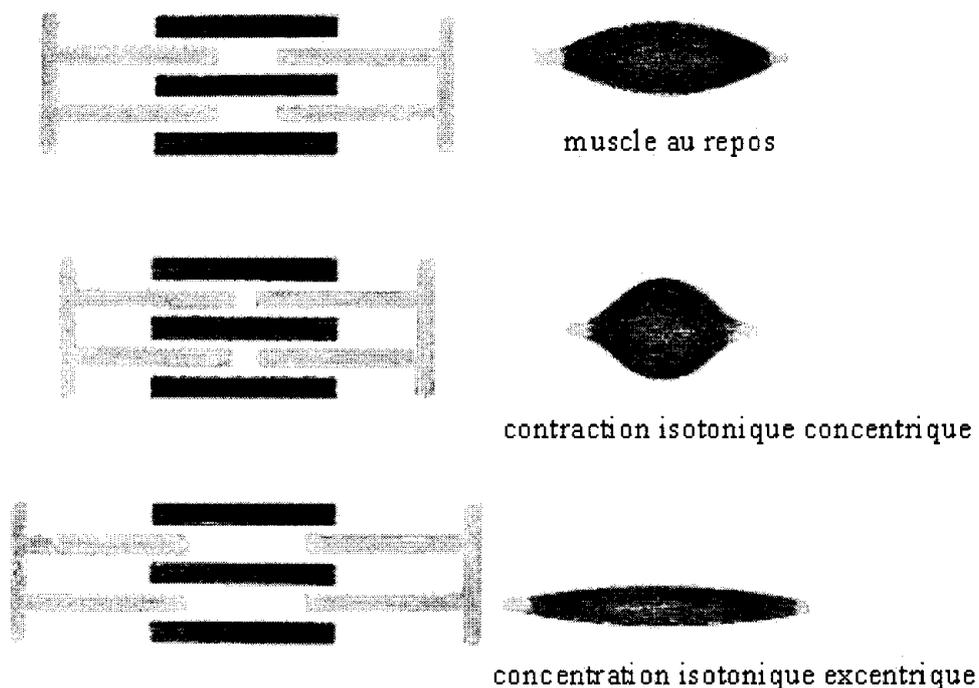
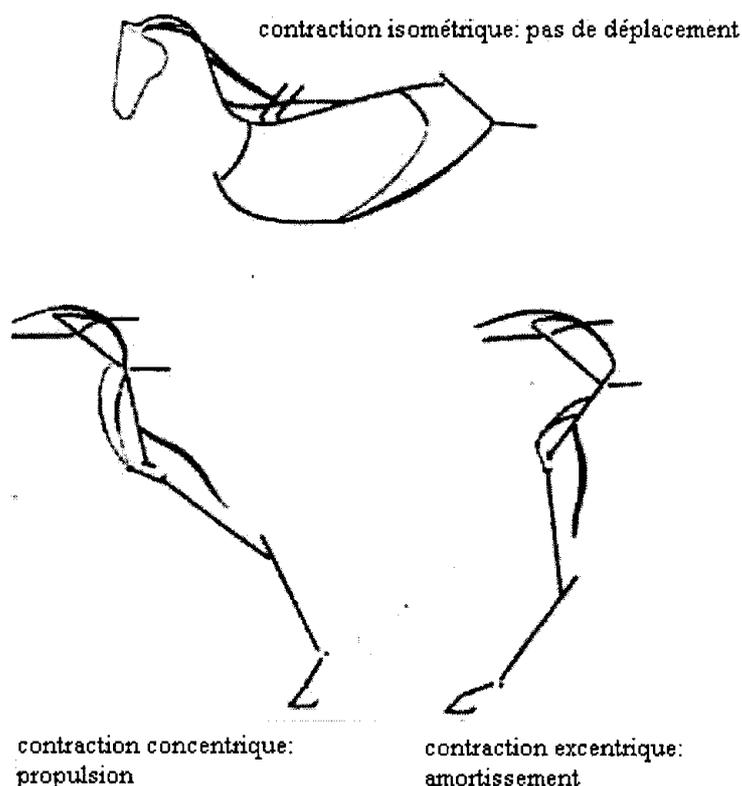


Figure 20: Contractions musculaires isotoniques (9)



**Figure 21: Différents types d'activité musculaire (22)**

### **1.3.1.3 Réponse du muscle squelettique à l'entraînement**

(32), (39), (49), (55), (61), (64), (65), (73), (80)

Les muscles squelettiques des chevaux ont un très grand potentiel d'adaptation à l'entraînement. En effet, la pratique régulière de l'exercice musculaire entraîne un profond remaniement du tissu musculaire squelettique. Cependant les effets de l'entraînement sur les fibres musculaires des chevaux sont très controversés. Ils dépendent de plusieurs facteurs, concernant le statut de base du muscle sollicité: race, âge, sexe et niveau d'entraînement du cheval, et le stimulus appliqué sur le muscle: type, intensité, fréquence, durée et volume de l'exercice. L'entraînement de type endurance est à l'origine de faibles variations de masse musculaire, tandis que l'entraînement en force est responsable d'une hypertrophie musculaire marquée.

Ainsi, il existe trois types de réponses des fibres musculaires:

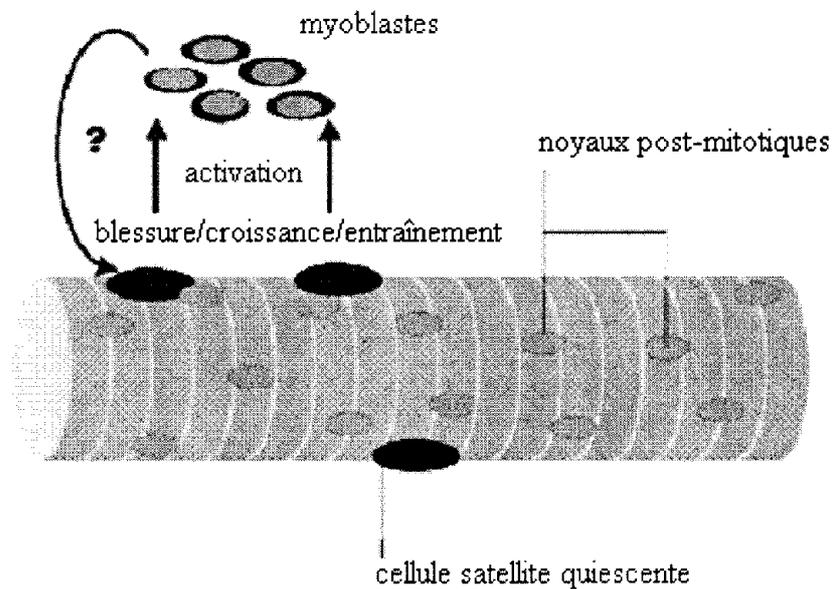
- l'hypertrophie
- le remodelage sans hypertrophie
- le remodelage avec hypertrophie.

- **Hypertrophie des fibres musculaires**

Elle se produit en réponse à des petites contractions musculaires isométriques, à une hyper-extension du muscle légère et prolongée et lors d'entraînement en force. Cela concerne principalement les fibres de type II.

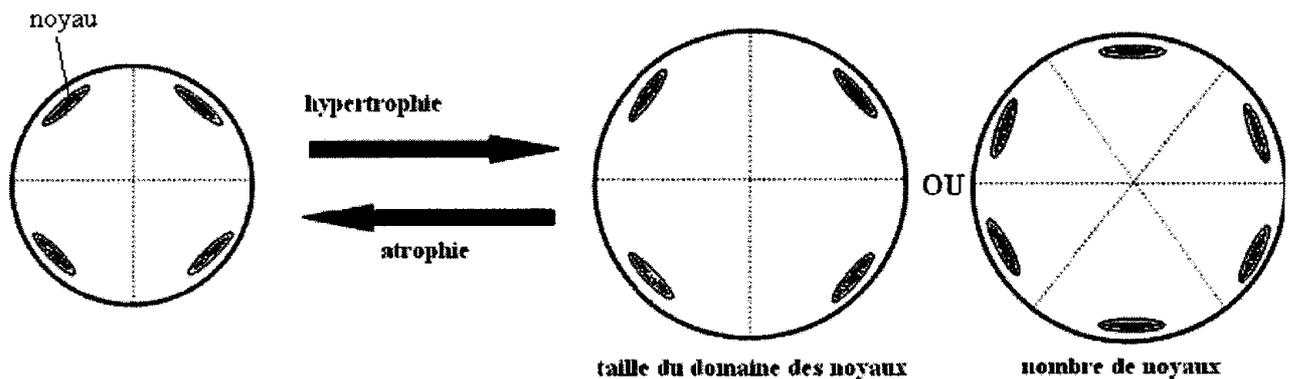
Elle consiste en une augmentation de la taille des myofibrilles sans changement de leur structure basale, de leur physiologie et de leurs propriétés biochimiques. L'hypertrophie

des cellules musculaires se fait par l'intermédiaire de la division d'une cellule satellite. Les cellules satellites sont des cellules fusiformes adjacentes à la membrane de la cellule musculaire, formant une population de myoblastes inactifs. Elles se trouvent à l'état quiescent entre la lame basale et le sarcolemme de la fibre à laquelle elles sont associées. Elles assurent la croissance des fibres musculaires en maintenant le rapport entre les unités de transcription (noyaux ajoutés au fur et à mesure de la croissance) et le volume des fibres et sont responsables de la régénération des fibres musculaires après une lésion. Les cellules satellites sont également activées lors d'un exercice musculaire de type force, elles prolifèrent et se divisent. Une des cellules filles devient une cellule satellite, tandis que l'autre fusionne avec la cellule musculaire. Il y a donc ajout d'un noyau à la cellule musculaire, ce qui permet ensuite la synthèse de myofibrilles supplémentaires et d'autres éléments cytoplasmiques ainsi qu'une augmentation du potentiel de synthèse protéique de la fibre musculaire (figure 22). Cela conduit à une augmentation de la masse musculaire en épaisseur et en longueur.



**Figure 22: Cycle d'activation des cellules satellites quiescentes (modifié d'après 65)**

Cependant cette théorie est très controversée. Il semble que l'ajout de noyaux à la cellule musculaire ne se vérifie que lorsque l'augmentation de la taille des fibres est importante et supérieure à 15 %. Dans les autres cas, l'hypertrophie musculaire serait due à une augmentation de la taille du domaine occupé par chaque noyau, sans ajout de nouveaux noyaux (figure 23).



**Figure 23: Mécanismes d'hypertrophie musculaire, fibres musculaires vues en section transversale (80)**

- Remodelage des fibres musculaires sans hypertrophie

Il se produit lors de contractions toniques et prolongées et lors d'exercices d'endurance. Cela concerne principalement les fibres de type I.

Il consiste en une nouvelle organisation intracellulaire, avec l'acquisition de nouvelles caractéristiques enzymatiques et structurales. Des changements au niveau de l'expression des protéines métaboliques et contractiles ont lieu. L'activité des enzymes du métabolisme aérobie augmente. Les mitochondries dans la cellule et les capillaires sanguins à proximité sont plus nombreux. Le stockage musculaire du glycogène est plus important, tandis que l'activité des enzymes glycolytiques diminue. Ces changements au niveau moléculaire conduisent à un changement du type de fibres, allant progressivement des fibres de type II (rapides et glycolytiques) aux fibres de type I (lentes et oxydatives).

Il existe une relation de dose à effet entre la durée totale de l'entraînement et l'ampleur des changements induits au niveau moléculaire.

Ces changements permettent une augmentation de la résistance du muscle et une baisse de la vitesse de raccourcissement musculaire. Le métabolisme musculaire est plus efficace et fonctionne de façon plus économique.

- Remodelage des fibres musculaires avec hypertrophie

Il combine les deux types de réponses vues précédemment.

Cependant, comme nous l'avons souligné, les effets de l'entraînement du cheval sur la taille des fibres musculaires sont actuellement très controversés. Si l'on s'accorde parfaitement pour affirmer qu'une importante augmentation de la masse musculaire est observée chez les chevaux après la réalisation de la majorité des programmes d'entraînement, les opinions diffèrent à propos de l'origine de ce phénomène. Il apparaît dans certaines études réalisées sur le muscle fessier moyen qu'après une période d'entraînement l'aire des fibres musculaires en coupe transversale soit augmentée, notamment les fibres de type I dans le travail de Miyata et al réalisé en 1999 (64). Au contraire, une étude menée sur de jeunes trotteurs (46) aboutit au résultat suivant : l'aire des fibres musculaires diminue dans les deux premiers mois de la période d'entraînement puis augmente progressivement jusqu'à atteindre sa valeur initiale. Il semble également que les variations de taille des fibres musculaires en réponse au travail du cheval dépendent de la race du cheval et de la localisation des fibres

dans le muscle (73).

Ainsi une augmentation de la masse musculaire du cheval couplée à une absence d'augmentation voire à une diminution de l'aire des fibres pourrait être le résultat d'une hyperplasie fonctionnelle des fibres en réponse à l'entraînement, sous forme de fractionnement ou de ramification des fibres préexistantes. Cela correspondrait de plus à l'observation faite dans certaines études de populations de fibres de petite taille au cours des premiers mois suivant la mise à l'exercice.

#### **1.3.1.4 Réponse du muscle squelettique au surentraînement**

(32), (49)

Le surentraînement est reconnu comme l'une des causes de contre-performance. Cependant, il s'accompagne de très peu de changements caractéristiques dans le muscle squelettique. Certaines fibres de type II s'atrophient. Il se produit une augmentation du volume mitochondrial dans les fibres de type I et II. Les fibres musculaires restantes sont alors plutôt oxydatives. La concentration en glycogène diminue, l'adénosine triphosphate présent dans la cellule s'épuise.

#### **1.3.1.5 Réponse du muscle squelettique à l'arrêt de l'entraînement**

(32), (49)

A l'arrêt de l'entraînement, les fibres de type I sont progressivement transformées en fibres de type II. La taille des myofibrilles diminue, la densité des mitochondries décroît, tout comme l'activité des enzymes aérobies, la teneur en glycogène dans la cellule musculaire et la densité des capillaires sanguins à proximité de celle-ci.

### **1.3.2 Muscles de l'encolure**

(5), (18), (27), (71), (74), (78)

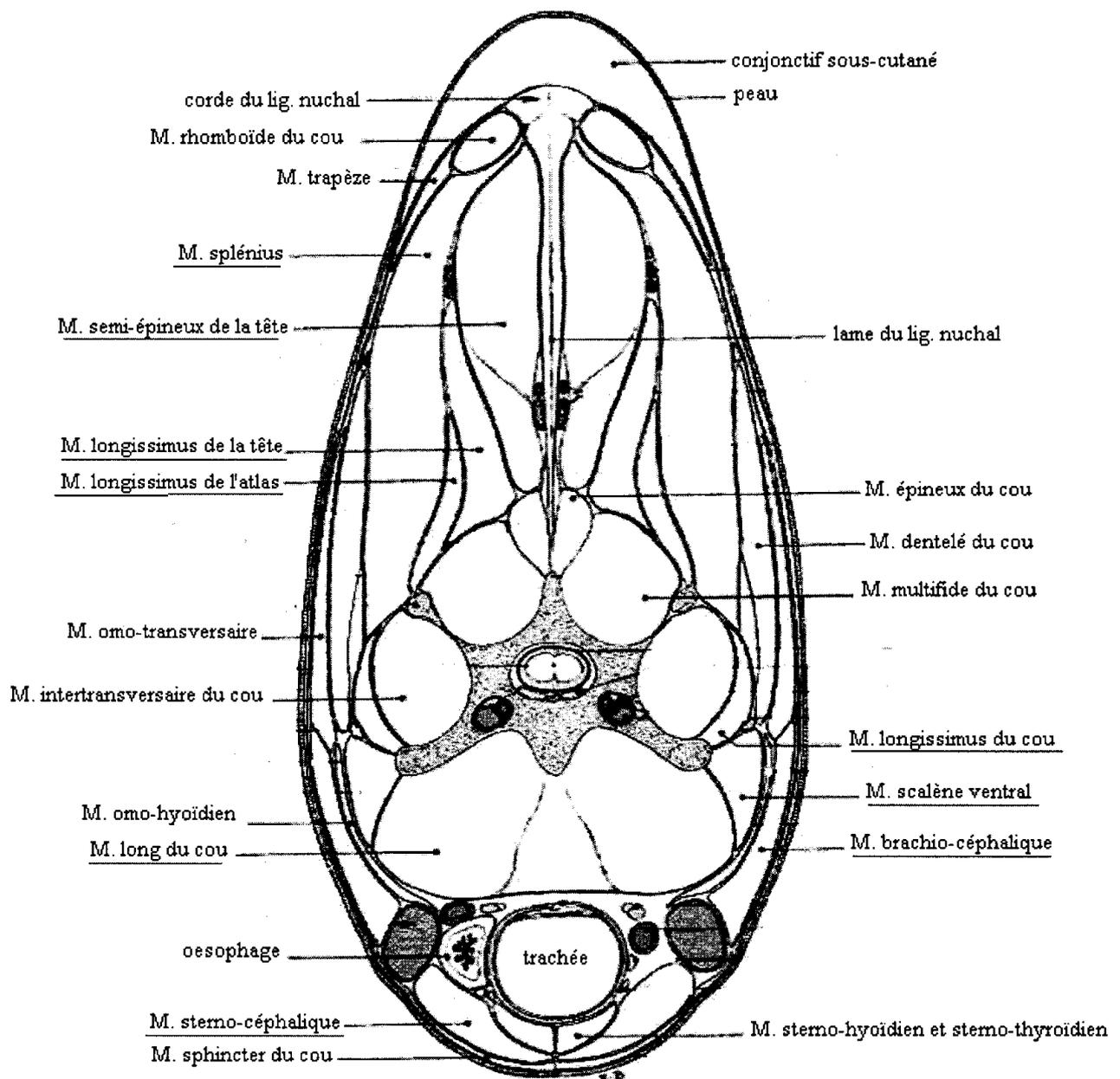
Les muscles cervicaux dorsaux sont principalement extenseurs de l'encolure, les muscles cervicaux ventraux sont essentiellement fléchisseurs de l'encolure tandis que les muscles profonds sont impliqués dans les mouvements de rotation.

- Principaux muscles extenseurs de la tête et du cou (figure 24, soulignés en rouge):
  - le **muscle splénius**: il s'étend de la partie profonde du garrot (processus épineux des troisième, quatrième et cinquième vertèbres thoraciques) à l'atlas et à la tête. Il a également un rôle dans l'inclinaison latérale de la tête.
  - le **muscle semi-épineux**: il est composé de deux parties allant des vertèbres cervicales et des premières vertèbres thoraciques à l'os occipital. Il est le plus puissant extenseur de la nuque et de l'encolure et permet l'inclinaison de la tête sur le côté lors d'action d'une seule de ses deux parties.
  - les **muscles longissimus**: ils joignent les dernières vertèbres cervicales et les premières vertèbres thoraciques à l'atlas. Ils permettent également l'inclinaison

latérale de la tête et du cou.

- les **muscles grand et petit droits dorsaux de la tête**: le muscle grand droit dorsal s'étend de l'axis à l'atlas, le muscle petit droit dorsal est situé en dessous, il en est auxiliaire. Ce sont des muscles juxta-vertébraux.
- Principaux muscles fléchisseurs de la tête et du cou (figure 24, soulignés en bleu):
  - les **muscles longs**: ils sont situés sur la face ventrale des vertèbres cervicales et se terminent sur l'atlas. Le muscle long du cou est divisé en deux parties: cervicale et thoracique. Ce sont des muscles juxta-vertébraux.
  - le **muscle brachio-céphalique**: il prend son origine sur la crête humérale et se termine sur la crête mastoïdienne. Lors d'action unilatérale, il permet également des mouvements de rotation et de latéflexion de la nuque et de l'encolure.
  - le **muscle sterno-céphalique**: il joint le manubrium sternal à la mandibule. Sa contraction unilatérale entraîne des mouvements de latéflexion et de rotation de la tête et du cou.
  - les **muscles scalènes**: ils vont de la première côte aux dernières vertèbres cervicales. Ils permettent également la rotation de la base de l'encolure.

Il existe des muscles rotateurs de la tête. Ce sont les **muscles obliques crânial et caudal de la tête**.



**Figure 24: Coupe transversale du cou d'un cheval passant par la cinquième vertèbre cervicale (modifié d'après 5)**

### 1.3.3 Muscles des régions thoracique, lombaire et sacrale

(5), (18), (27), (71), (74)

- Muscles extenseurs du tronc (figure 25, soulignés en rouge):
  - le **muscle erector spinae**: c'est le plus puissant, il est clivé en trois divisions parallèles formées de nombreux faisceaux: le **muscle épineux** médialement (reliant les processus épineux et mamillaires thoraciques à d'autres processus épineux plus crâniens), le **muscle ilio-costal** latéralement (s'étendant des processus transverses lombaires aux côtes) et le **muscle longissimus** très puissant entre les deux (du

sommet des processus épineux thoraciques aux processus mamillaires lombaires, aux processus transverses thoraciques et à l'extrémité proximale des côtes).

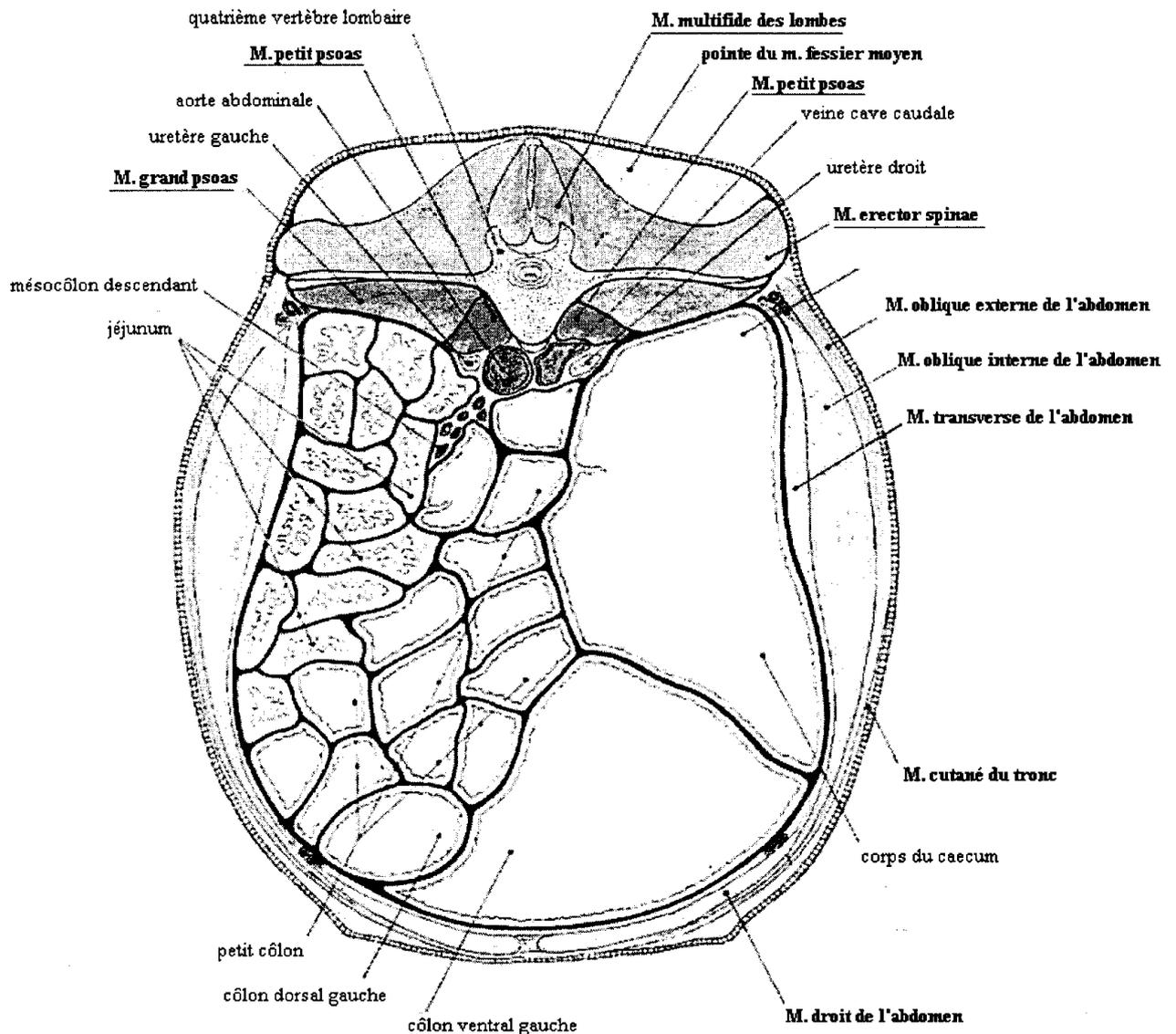
Le muscle ilio-costal et le muscle longissimus sont également expirateurs et permettent lors d'action unilatérale l'inclinaison latérale du rachis.

Le muscle erector spinae affermit le pont thoraco-lombaire.

Le muscle longissimus est le plus long et le plus large muscle du corps du cheval.

C'est sur lui que reposent la selle et le poids du cavalier lorsque le cheval est monté. Il est le muscle principal du dos.

- le **muscle multifide thoraco-lombaire**: il s'étend du sacrum au cou et relie les processus transverses aux processus épineux. C'est un muscle juxta-vertébral. Son rôle dans l'extension du tronc est limité. Il permet une flexion latérale lors de contraction unilatérale.
- Muscles fléchisseurs du tronc (figure 25, soulignés en bleu):
  - le **muscle petit psoas**: il s'insère sur le corps des dernières vertèbres thoraciques et des vertèbres lombaires et se termine sur l'os ilium.
  - le **muscle grand psoas**: il longe latéralement le muscle petit psoas et se termine sur le petit trochanter du fémur.
  - le **muscle carré des lombes**: il s'étend de la crête iliaque aux dernières côtes, sur la face ventrale des processus transverses lombaires. Il permet également l'incurvation du rachis lors d'action unilatérale.
  - le **muscle iliaque**: il couvre la face pelvienne de l'ilium et se termine sur le petit trochanter du fémur. Il est divisé en deux parties par le muscle grand psoas, auquel il est uni. Ils forment ainsi le **muscle ilio-psoas** permettant la flexion de la hanche, mais aussi de l'articulation lombo-sacrale et de la colonne vertébrale lombaire. De cette façon, il participe aux deux composantes de l'engagement des membres postérieurs (bascule du bassin vers l'avant et vers le bas et flexion de l'articulation coxo-fémorale).



**Figure 25: Coupe transversale de l'abdomen d'un cheval passant par la quatrième vertèbre lombaire (modifié d'après 74)**

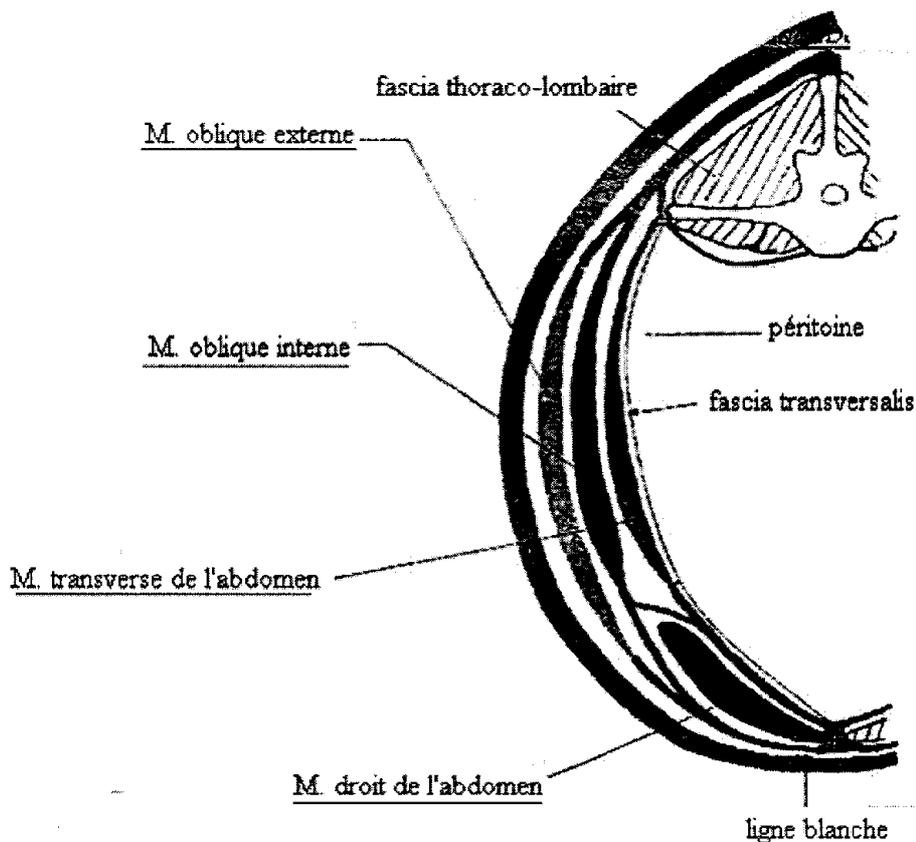
### 1.3.4 Muscles de la paroi de l'abdomen

(5), (18), (27), (71), (77)

Les muscles de la paroi de l'abdomen forment la base anatomique des régions du ventre, du flanc, de l'hypochondre et de l'aîne. Ce sont des muscles plats, pairs, composés d'une partie charnue et d'une aponévrose. Ils sont disposés en couches superposées et sont recouverts par la tunique abdominale. Ils s'unissent ventralement dans le plan médian avec leurs homologues pour former la ligne blanche. Celle-ci s'étend du processus xiphoïde au pubis où elle se renforce pour donner le tendon prépubien.

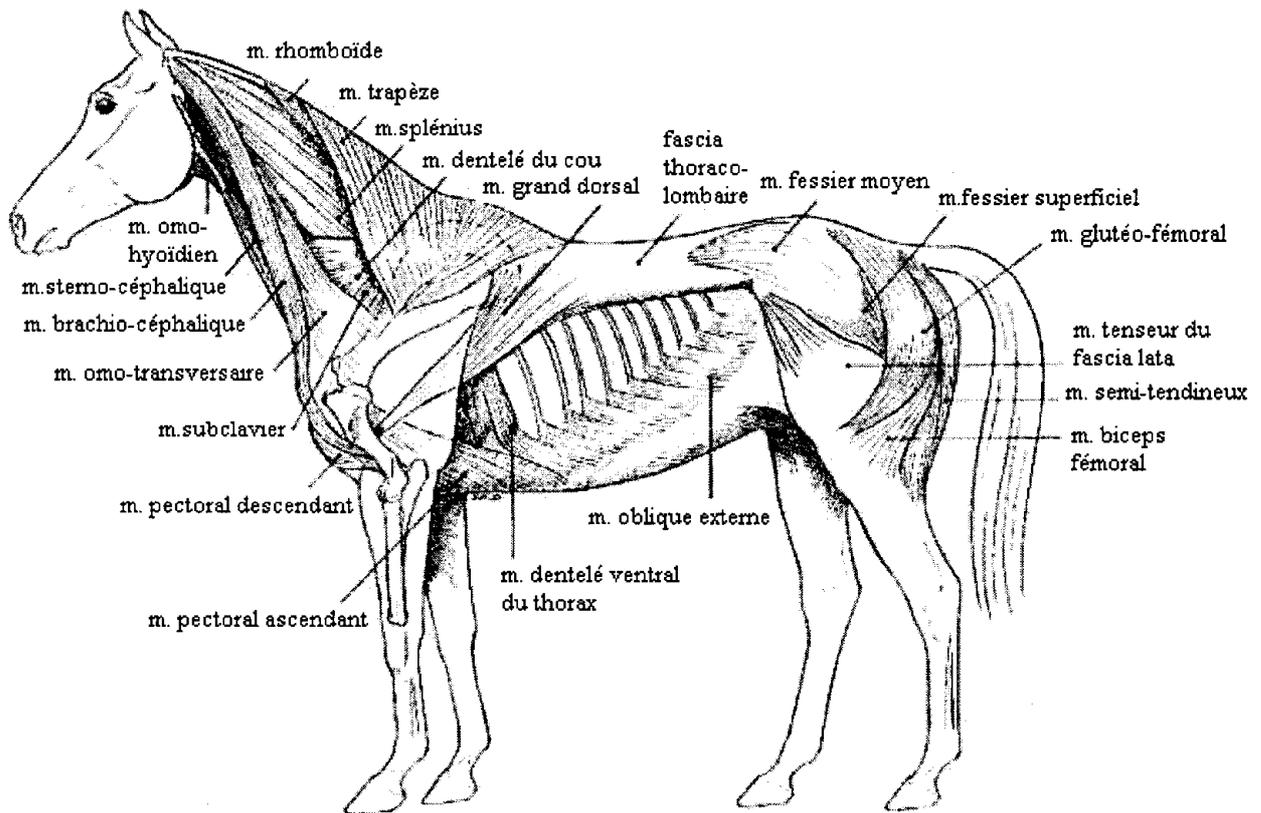
Les muscles abdominaux interviennent dans le soutien des viscères abdominaux et dans la locomotion: ils forment la ligne du dessous, responsable de la flexion active du pont thoraco-lombaire et de la charnière lombo-sacrée, permettant ainsi l'engagement des membres postérieurs.

- Muscles fléchisseurs du tronc (figure 26, soulignés en bleu):
  - le **muscle oblique externe de l'abdomen**: il s'étend de la face latérale du thorax et du bord des lombes jusqu'à la ligne blanche et la région inguinale. C'est un muscle fléchisseur du pont thoraco-lombaire directement ou latéralement si un seul muscle se contracte.
  - le **muscle oblique interne de l'abdomen**: il est situé sous le muscle oblique externe de l'abdomen, de l'épine iliaque ventro-crâniale (angle de la hanche) et de la région inguinale à l'extrémité distale des dernières côtes et à la ligne blanche. Il a les mêmes rôles que le muscle précédent.
  - le **muscle transverse de l'abdomen**: il s'insère sur les processus transverses des vertèbres lombaires et sur la face interne des dernières côtes et se termine sur la ligne blanche et le tendon prépubien. Il est situé sous les deux muscles obliques. Il contribue à la réalisation du caisson abdominal et ainsi au maintien de l'intégrité de la colonne vertébrale.
  - le **muscle droit de l'abdomen**: il s'étend de la face ventrale du sternum au bord crânial du pubis.

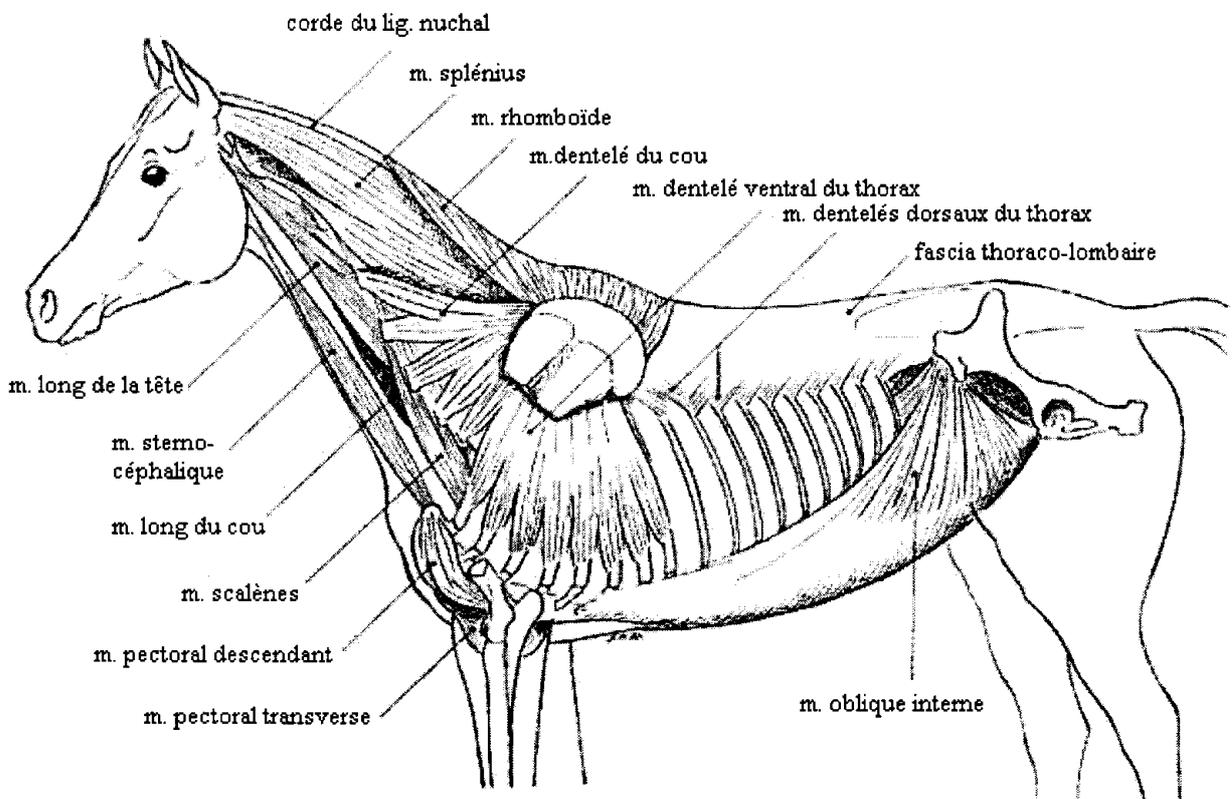


**Figure 26: Coupe transversale de la paroi abdominale du cheval (77)**

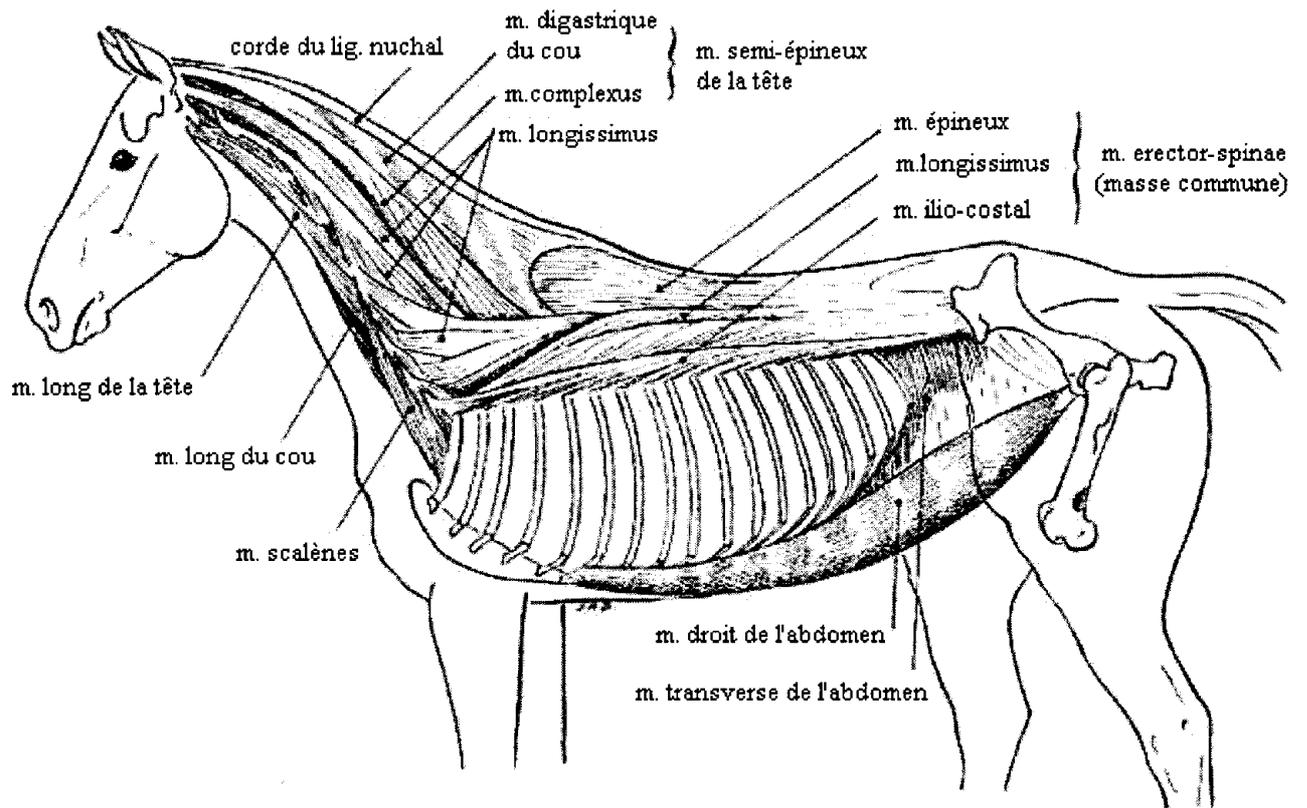
Les muscles mobilisateurs de l'axe vertébral que nous venons d'étudier sont les muscles para-vertébraux, qui se trouvent sur différents plans: les plans superficiel (figure 27), moyen (figure 28) et profond (figure 29), et les muscles juxta-vertébraux (figure 30).



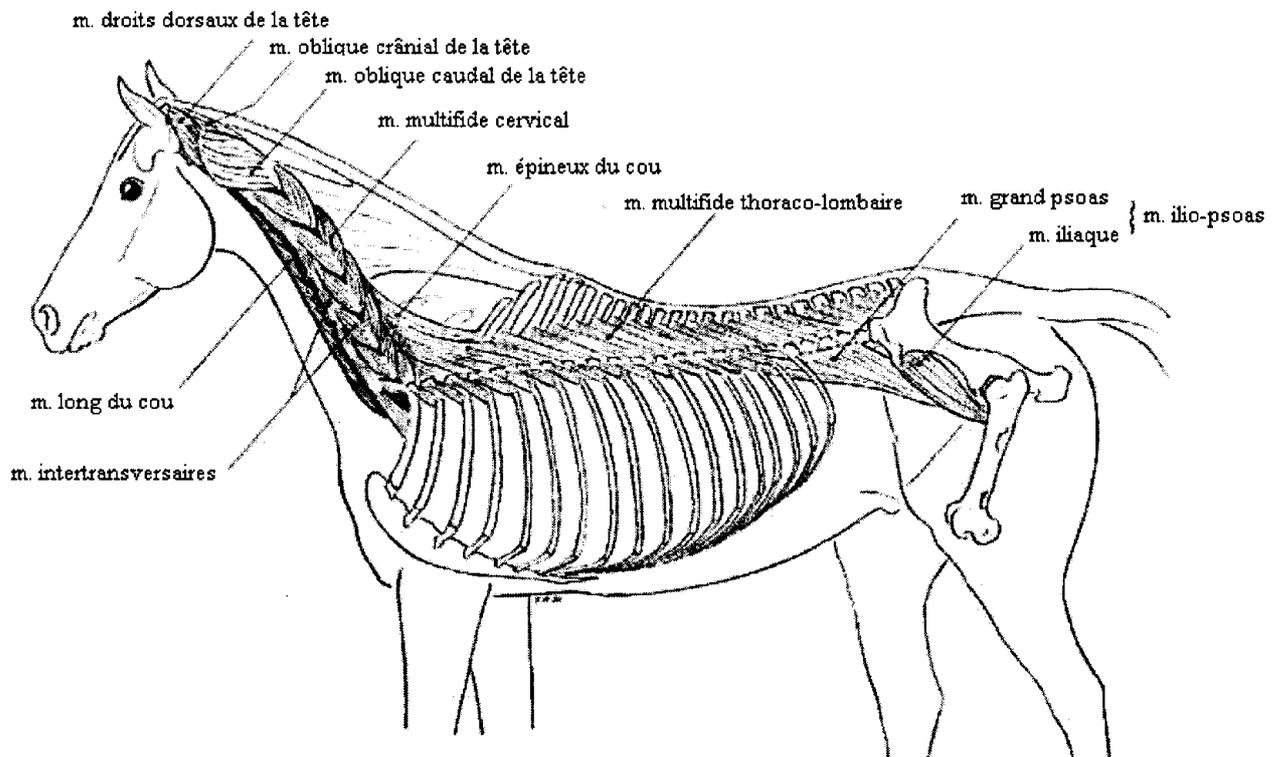
**Figure 27: Muscles de l'encolure et du tronc. Plan superficiel (27)**



**Figure 28: Muscles de l'encolure et du tronc. Plan moyen (27)**



**Figure 29: Muscles de l'encolure et du tronc. Plan profond (27)**



**Figure 30: Muscles juxta-vertébraux de l'encolure et du tronc (27)**

## **2 BIOMECANIQUE DU RACHIS**

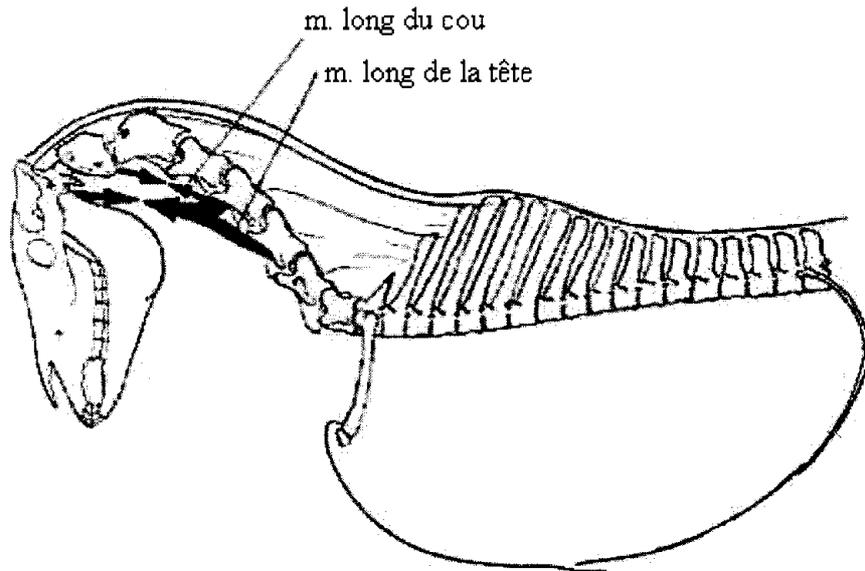
### **2.1 Analyse biomécanique de la colonne vertébrale**

#### **2.1.1 Segment cervical**

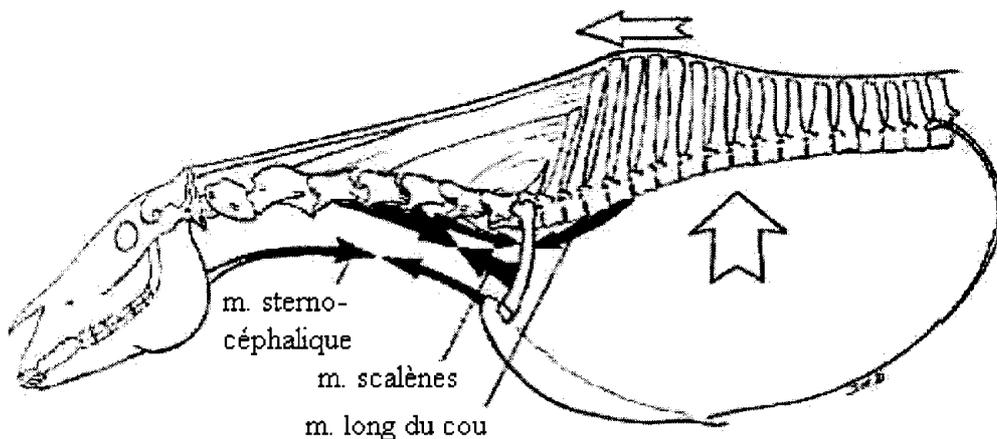
(7), (16), (18), (19), (27), (28), (33)

La région cervicale et la tête constituent le balancier cervico-céphalique. C'est un élément primordial de contrôle du centre de gravité du cheval. L'amplitude des mouvements dans cette région est beaucoup plus importante que celle du pont thoraco-lombaire. Il existe deux zones de mobilité maximale: la jonction céphalo-cervicale ou région cervicale haute, à l'origine des mouvements de la tête par rapport à l'encolure et la jonction cervico-thoracique ou région cervicale basse responsable des mouvements de l'encolure par rapport au tronc.

- Mouvements de flexion/extension
- La **flexion cervicale haute** résulte de la contraction concentrique des muscles long de la tête, long du cou et sterno-céphalique (figure 31).
- La **flexion cervicale basse** est due à l'action bilatérale des muscles scalènes, long du cou et sterno-céphalique. Le ligament nuchal tire les processus épineux thoraciques du garrot vers l'avant. Le ligament supra-épineux est aussi mis en tension. Ainsi les corps vertébraux thoraciques basculent, les disques intervertébraux se tassent et le segment thoracique devient rigide et peut transmettre l'impulsion assurée par les membres postérieurs. La flexion cervicale basse entraîne une flexion thoracique et lombo-sacrée. La flexion thoracique permet une élévation du dos et facilite le port du poids du cavalier. La masse commune et les muscles juxta-vertébraux sont étirés et travaillent en élongation. La flexion lombo-sacrée induite concourt au développement des muscles de la paroi abdominale et des muscles sous-lombaires. La flexion cervicale basse est également appelée en équitation descente d'encolure et présente un intérêt pour le cheval en dressage et en saut d'obstacle. Ainsi elle représente un excellent exercice de base de la préparation du cheval de sport (figure 32).

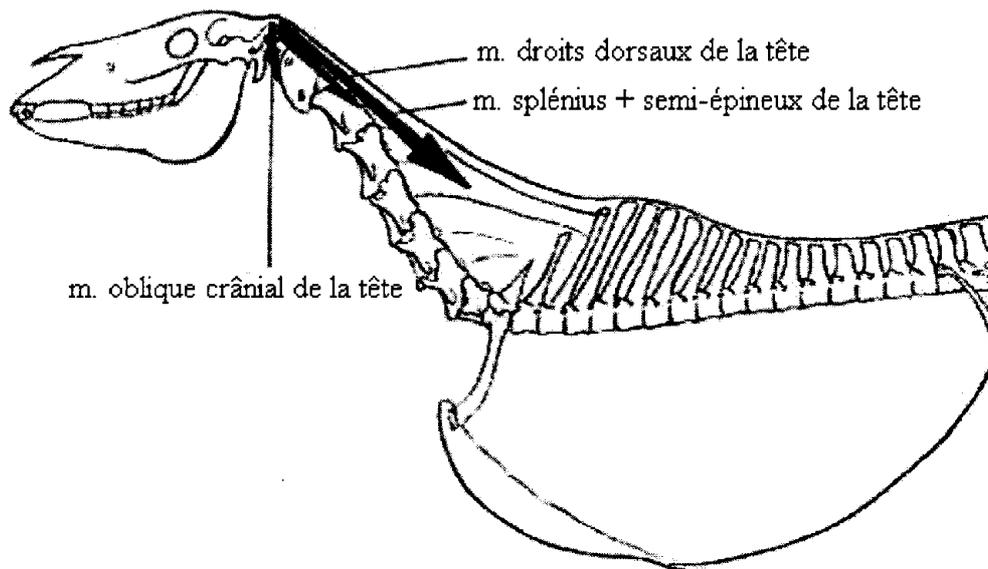


**Figure 31: Muscles actifs lors de flexion cervicale haute (27)**

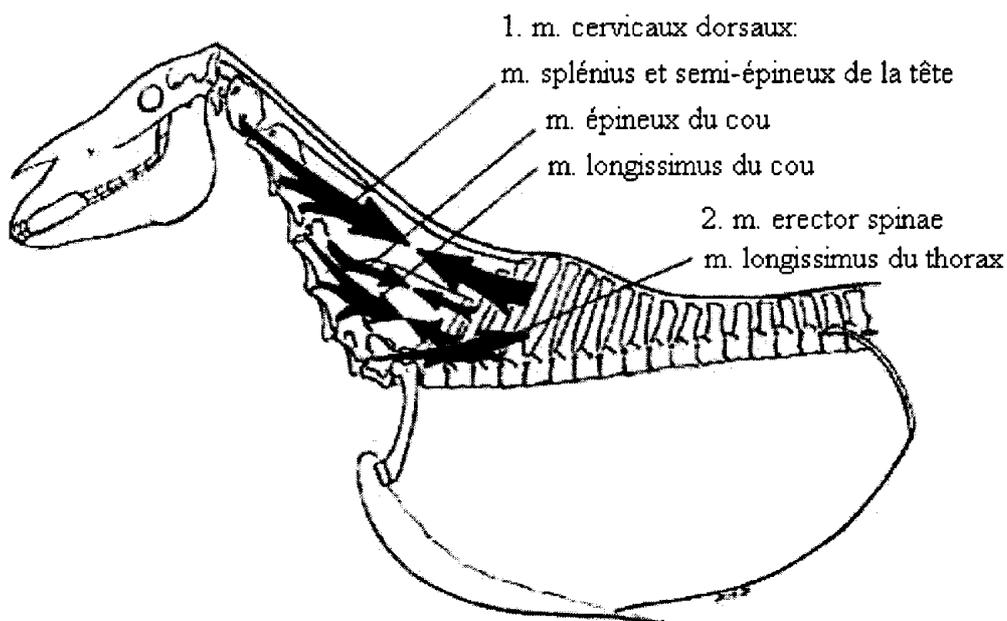


**Figure 32: Muscles actifs lors de flexion cervicale basse (27)**

- L'**extension cervicale haute** résulte de l'action des muscles splénius, semi-épineux de la tête, longissimus de la tête, grand et petit droits dorsaux de la tête et oblique crânial de la tête (figure 33).
- L'**extension cervicale basse** est principalement due à la contraction de la terminaison du muscle erector spinae de chaque côté du rachis ainsi qu'à l'action des muscles cervicaux dorsaux: les muscles splénius, semi-épineux du cou, longissimus du cou et épineux du cou. Lors d'un mouvement d'extension cervicale, le ligament nuchal et le ligament supra-épineux sont relâchés, les corps vertébraux thoraciques s'éloignent tandis que les processus épineux se rapprochent. (figure 34).



**Figure 33: Muscles actifs lors d'extension cervicale haute (27)**



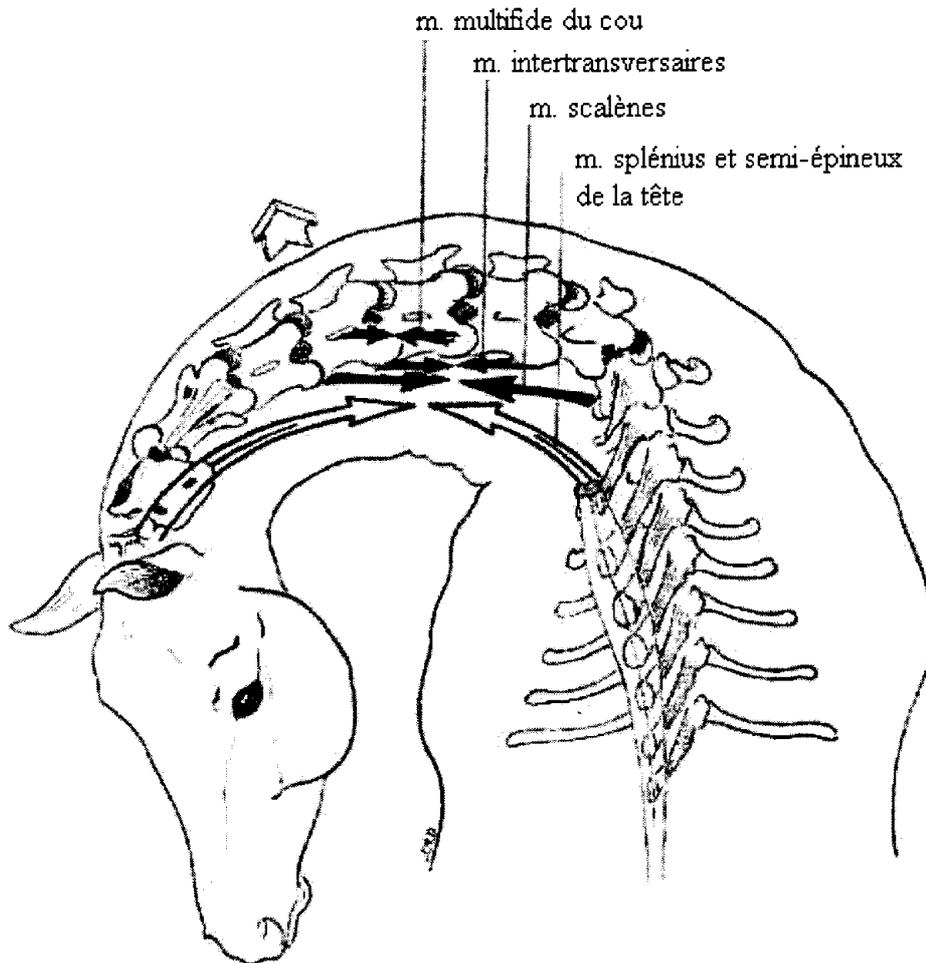
**Figure 34: Muscles actifs lors d'extension cervicale basse (27)**

- Mouvements de latéflexion et rotation

Les mouvements de rotation et de latéflexion sont toujours associés.

- La **latéflexion et la rotation cervicales hautes** (c'est à dire nuchales) sont assurées par la contraction unilatérale des muscles obliques crânial et caudal de la tête, des muscles droits latéraux et dorsaux de la tête, des muscles splénius, semi-épineux et brachio-céphalique.
- La **latéflexion et la rotation cervicale basse** correspondent à la contraction

unilatérale des muscles cervicaux ventraux suivants: les muscles scalènes, sterno-céphalique et brachio-céphalique, et à l'action unilatérale de la majorité des muscles cervicaux dorsaux: muscles splénius, semi-épineux du cou, longissimus du cou et de la partie cervicale du muscle trapèze (figure 35).



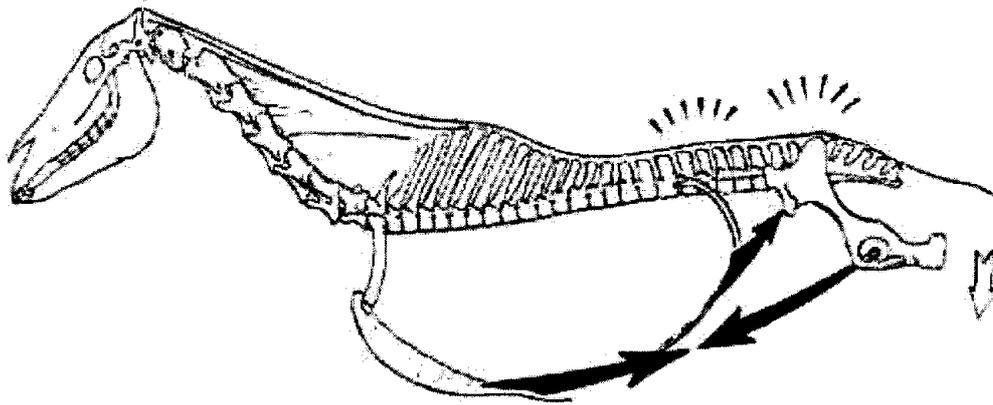
**Figure 35: Muscles actifs lors de latéroflexion cervicale basse (27)**

### 2.1.2 Segments thoracique, lombaire et sacré

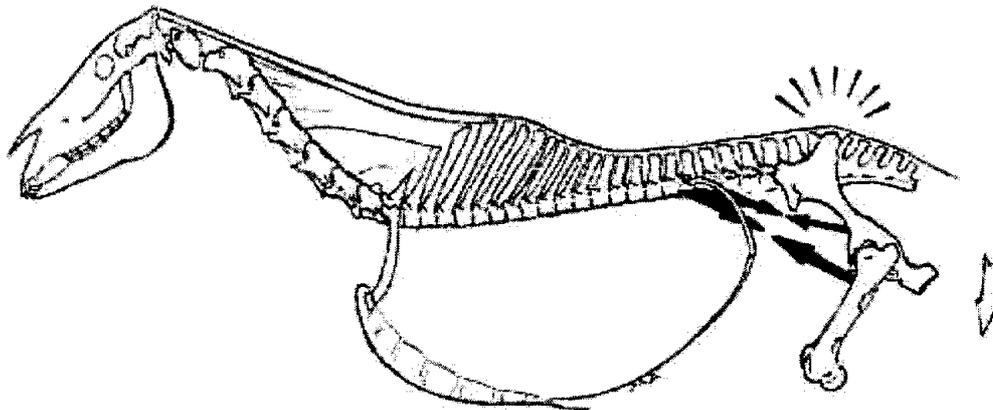
(7), (18), (25), (27), (28), (33), (83)

Les muscles permettant les mouvements des segments thoracique, lombaire et sacré appartiennent à deux groupes: les muscles de la région sous-lombaire et les muscles des parois latéro-ventrales de l'abdomen. Les muscles fléchisseurs de la colonne vertébrale sont situés sous l'axe vertébral, tandis que les muscles extenseurs sont situés au-dessus.

- Mouvements de flexion/extension
- Les **flexions thoraco-lombaire et lombo-sacrée** résultent de l'action de ces deux groupes de muscles. Elles sont dues à la contraction des muscles droit, oblique interne et oblique externe de l'abdomen et des muscles grand et petit psoas et ilio-psoas. Ils permettent la bascule du bassin vers l'avant et vers le bas et la flexion de la hanche, essentiels à l'engagement des postérieurs (figures 36 et 37).

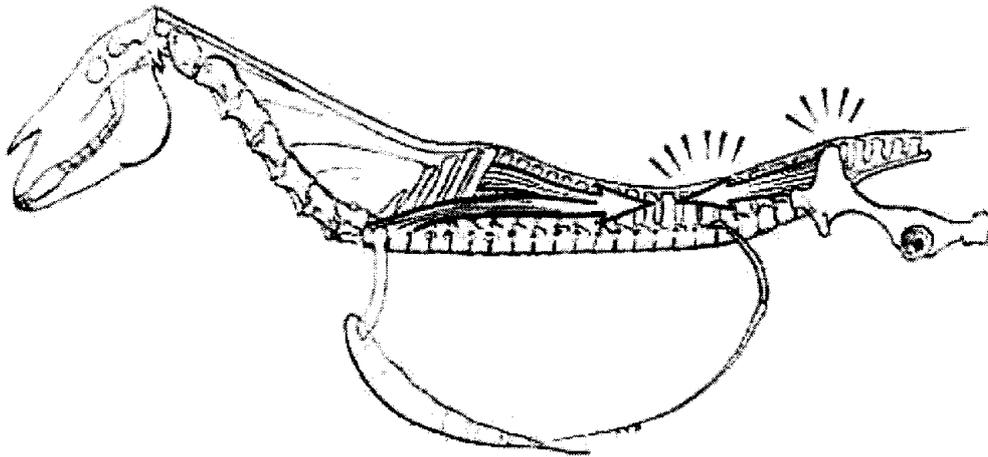


**Figure 36: Flexions thoraco-lombaire et lombo-sacrale (27)**

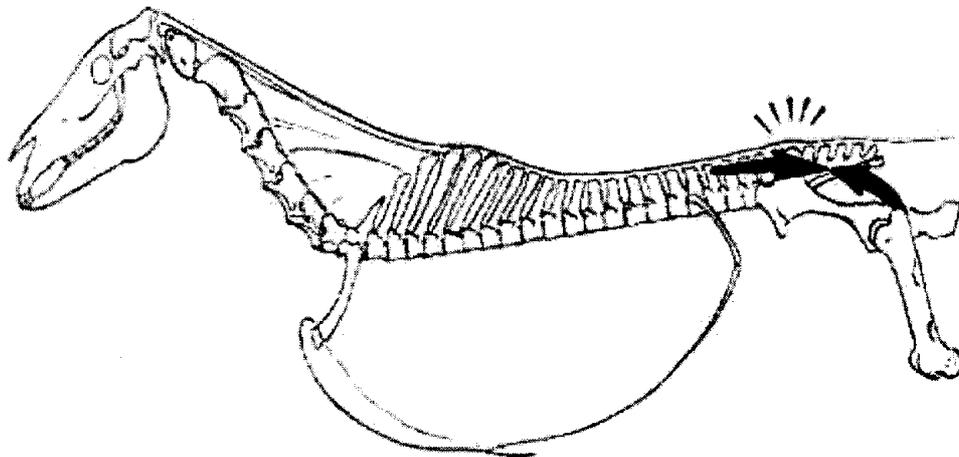


**Figure 37: Flexion lombo-sacrale (27)**

- Les **extensions thoraco-lombaire et lombo-sacrale** résultent de la contraction des muscles épineux, longissimus et ilio-costal du thorax formant le muscle erector-spinae, et du muscle fessier moyen qui permet le redressement du bassin sur l'axe vertical. Ces muscles interviennent dans la propulsion du corps et dans la transmission de l'impulsion du train arrière au train avant (figures 38 et 39).



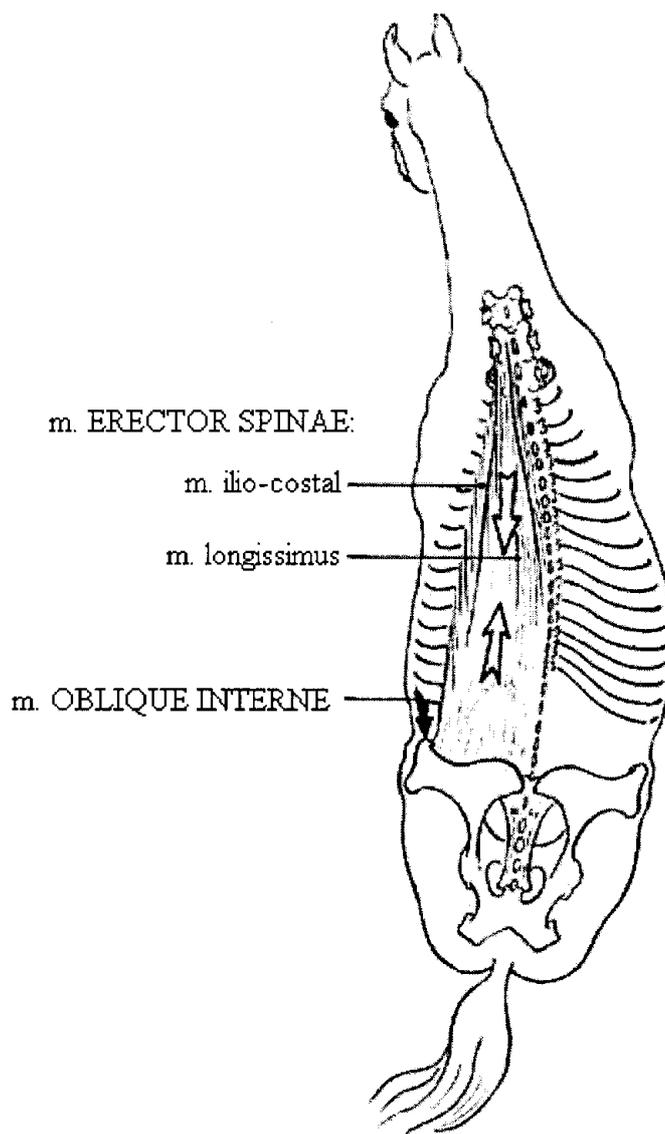
**Figure 38: Extensions thoraco-lombaire et lombo-sacrale (27)**



**Figure 39: Extension lombo-sacrale (27)**

- Mouvements de latéflexion et rotation

Les mouvements de latéflexion et de rotation sont toujours associés comme pour le segment cervical. Ils sont dus à la contraction unilatérale des muscles fléchisseurs et extenseurs de la colonne thoraco-lombaire. Les muscles erector spinae et obliques de l'abdomen sont les plus actifs dans les mouvements de latéflexion, tandis que les muscles multifide et obliques de l'abdomen sont les plus importants dans les mouvements de rotation (figure 40).



**Figure 40: Muscles actifs lors latéroflexion vertébrale (27)**

### 2.1.3 Chaînes musculaires dorsale et ventrale

(18), (27), (77)

On distingue deux chaînes musculaires: la chaîne dorsale appelée **ligne du dessus** et la chaîne ventrale appelée **ligne du dessous**. Elles possèdent des ancrages céphaliques, thoraciques et pelviens (figure 41).

Les muscles extenseurs du rachis forment ainsi la ligne du dessus. Elle est composée des muscles cervicaux dorsaux (releveurs de l'encolure et extenseurs de la charnière cervico-thoracique), erector spinae et multifide (extenseurs de la colonne thoraco-lombaire), fessiers et fémoraux caudaux (extenseurs de la hanche).

Elle intervient dans la propulsion du corps et dans les attitudes du saut et du cabré. Elle est également mise sous tension lorsque le cheval adopte des attitudes d'éveil ou d'inquiétude et représente l'ensemble musculaire mis en jeu lors de conflit ou de résistance. Elle ne doit être renforcée qu'après avoir tonifié la chaîne ventrale. En cas de travail inadapté, l'inverse se

produit. Ainsi la ligne du dessus est le groupe de muscles prédominant des chevaux mal travaillés.

La ligne du dessous est composée des muscles fléchisseurs de la colonne vertébrale: les muscles cervicaux ventraux (fléchisseurs de l'encolure), les muscles abdominaux (fléchisseurs de la colonne thoraco-lombaire et des articulations lombo-sacrale et coxo-thoraco-fémorale) et les muscles fémoraux crâniens (fléchisseurs de la hanche). Elle permet l'engagement des postérieurs et sert d'assise à la ligne du dessus notamment lors des efforts d'élévation de l'avant-main comme le saut. La chaîne ventrale n'est efficace que si la chaîne dorsale est souple et décontractée.

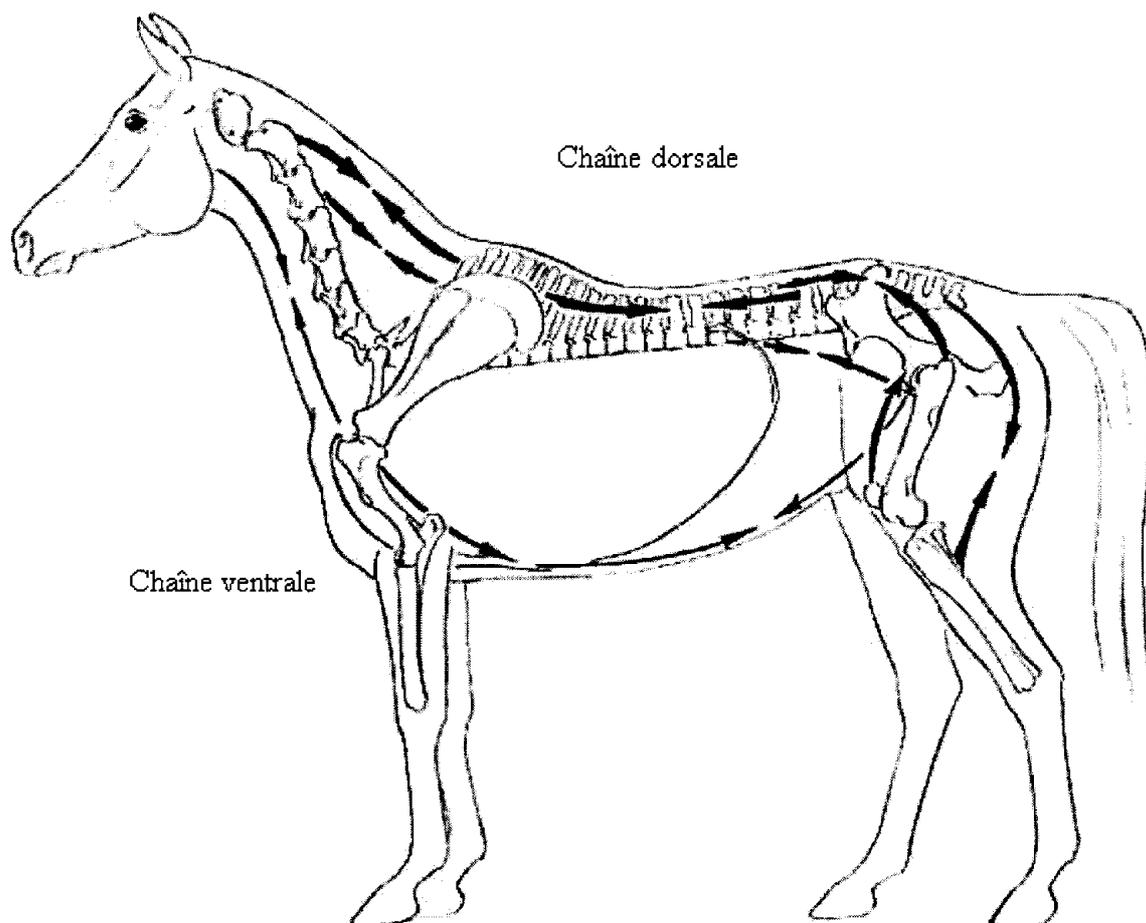


Figure 41: Chaînes musculaires du cheval (27)

## **2.2 Biomécanique de la colonne vertébrale lors de la locomotion**

(30)

La colonne vertébrale est une région fondamentale sous l'angle de la locomotion du cheval et de l'équitation. C'est un pont tendu entre les membres antérieurs et les membres postérieurs, supportant le poids du cavalier. Elle bénéficie d'une certaine souplesse et participe très efficacement à la propulsion.

La locomotion du cheval implique la mise en jeu d'un grand nombre de leviers musculo-squelettiques. Les actions musculaires dépendent de l'allure et du type de mouvement réalisé

par le cheval. Ce sont principalement les muscles spinaux superficiels qui jouent un rôle dans les mouvements de la colonne vertébrale, l'emmagasinage d'énergie et la redistribution de force durant la locomotion.

Les mouvements du rachis du cheval sont des mouvements de flexion, d'extension, de latéoflexion et de rotation axiale. Ils sont spécifiques de chaque allure. Les mouvements de flexion-extension sont induits par la protraction et la rétraction de chaque membre postérieur. Les actions musculaires des membres thoraciques et pelviens ne seront pas abordées, nous nous consacrerons à l'étude du tronc.

Une étude réalisée en 2001 (30) présente l'activité électromyographique de muscles de l'encolure et du tronc de chevaux se déplaçant au pas, au trot et au galop sur un tapis roulant ou sur une surface dure. L'activité des muscles splénius, sterno-céphaliques, brachio-céphaliques, longissimus du thorax et droit de l'abdomen est enregistrée à ces trois allures. Cette étude montre l'implication de ces muscles dans les déplacements du cheval au pas, au trot et au galop. Ces informations sont détaillées ci-dessous en traitant tout d'abord les mouvements de l'encolure puis ceux de la colonne thoraco-lombaire. Cependant nous ne disposons pas de telles études concernant les autres muscles du tronc et les autres mouvements du cheval que nous aborderons par la suite (rassembler, déplacements latéraux, saut d'obstacle).

(22)

Le cheval possède trois allures naturelles : le pas, le trot et le galop. Pour chaque membre, une foulée est composée de deux phases : une **phase d'appui** (le membre est au contact du sol) et une **phase de soutien** (le membre subit un mouvement de protraction). Trois temps peuvent être identifiés au sein de chaque phase.

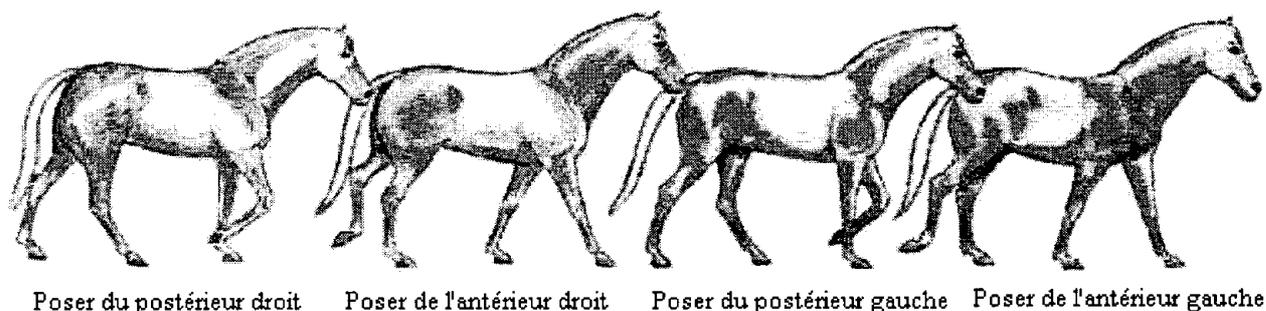
La **phase d'appui** peut être décomposée en un temps d'amortissement (fermeture des angles articulaires), un temps de soutènement (translation horizontale du corps) et un temps de propulsion (ouverture des angles articulaires).

La **phase de soutien** est divisée en un temps de ramener (dès que le membre quitte le sol après la propulsion), un temps de suspension et l'embrassée du terrain (correspondant à la fin du mouvement de protraction).

### 2.2.1 Au pas

(7), (17), (30), (34), (45), (54), (59), (86), (87)

Le pas est l'une des allures naturelles de base du cheval, tout comme le trot et le galop. C'est une allure marchée, symétrique, à quatre temps égaux dans laquelle les membres arrivent successivement à l'appui, chaque membre postérieur obligeant son membre antérieur ipsilatéral à se lever (figure 42). Elle est sous l'influence de nombreux phénomènes passifs. Les mouvements du rachis sont affectés par les mouvements de la tête et de l'encolure. Ils ne sont pas symétriques au pas chez les chevaux sains.



**Figure 42: Décomposition du pas (37)**

C'est à cette allure que la mobilité de la colonne thoraco-lombaire est la plus diversifiée et la plus complexe avec une association de mouvements de rotation, de latéroflexion et de mouvements limités de flexion et d'extension (sauf au niveau de la colonne vertébrale cervicale). La plus grande variabilité de mouvements est observée au niveau de la jonction lombo-sacrale. Le rachis cervical est le siège de mouvements importants de flexion et extension, des mouvements de latéroflexion sont principalement observés au niveau thoracique, tandis que la région lombaire réalise d'importants mouvements de rotation (tableau I).

**Tableau I : Mobilité régionale de la colonne vertébrale au pas (modifié d'après 87)**

	Segment cervical	Segment thoracique	Segment lombaire	Segment sacral
Flexion/Extension	++	+	+	+
Latéroflexion	+	++	+	+
Rotation	+/-	-	++	+

- Mouvements de l'encolure:

Les **muscles splénius** droit et gauche agissent simultanément avant le poser de chaque membre antérieur, ils amortissent et contrôlent l'amplitude de la flexion cervicale. Ils facilitent ainsi la protraction des membres antérieurs, assurée par les **muscles brachio-céphaliques**.

L'action des **muscles sterno-céphaliques** s'oppose à celle des muscles splénius, ils contrôlent l'extension cervicale et agissent juste avant et pendant la première moitié de la phase d'appui de chaque membre antérieur.

- Mouvements de la colonne thoraco-lombaire:

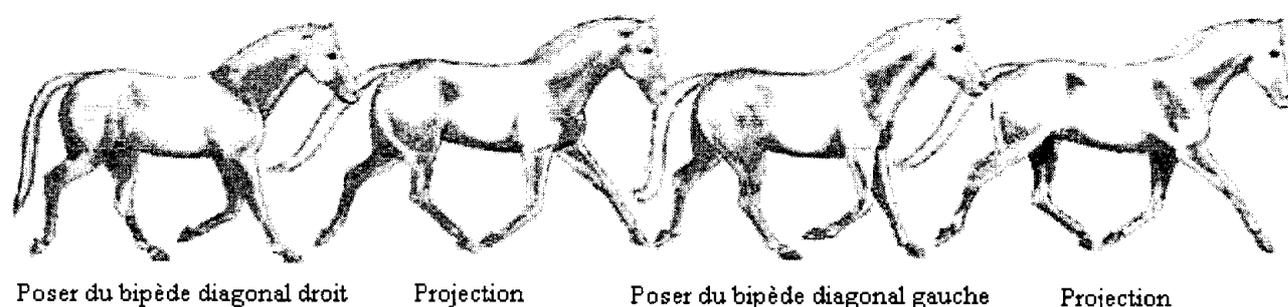
Les **muscles longissimus du thorax** ont un rôle dans la propulsion, ils agissent durant la deuxième moitié de la phase d'appui de chaque membre postérieur.

Les **muscles abdominaux** sont peu actifs au pas, du fait de l'absence de phase de suspension et de la faible accélération verticale des viscères abdominaux.

## 2.2.2 Au trot

(2), (7), (17), (21), (23), (30), (36), (45), (54), (58), (86), (87)

Le trot est une allure sautée, symétrique, à deux temps égaux, par bipèdes diagonaux. Chaque poser est séparé du suivant par une phase de projection ou temps de suspension. Le dos reste très stable à cette allure (figure 43).



**Figure 43: Décomposition du trot (37)**

Les mouvements de latéroflexion et de rotation sont plus importants que les mouvements de flexion et extension. L'extension vertébrale se produit pendant la première moitié de la phase d'appui du bipède diagonal, tandis que la flexion vertébrale a lieu à la fin de cette phase. L'extension maximale puis la flexion maximale se produisent selon une séquence crânio-caudale. Ces mouvements sont pour la plupart passifs, de faible amplitude (moins de quatre degrés pour les trois angles thoracique, thoraco-lombaire et lombo-sacral (2)) et limités par les muscles du tronc. Les mouvements de latéroflexion de la colonne vertébrale se font du côté du membre antérieur à l'appui grâce à l'action des muscles obliques interne et externe de l'abdomen et du muscle ilio-costal (appartenant au muscle erector spinae). Les mouvements de rotation du rachis sont alternativement passifs puis actifs. Au cours de la phase d'amortissement d'un diagonal, la rotation est passive et entraîne l'abaissement de l'épaule et de la hanche du diagonal opposé. Au contraire, lors de la phase de propulsion, un mouvement de rotation active de sens contraire favorise leur élévation. Il est facilité par une rotation du thorax dans le même sens, du côté de l'antérieur au soutien, par contraction des muscles multifide lombo-thoracique et obliques externe et interne de l'abdomen (tableau II).

**Tableau II: Mobilité régionale de la colonne vertébrale au trot (modifié d'après 87)**

	Segment cervical	Segment thoracique	Segment lombaire	Segment sacral
Flexion/Extension	+	+/-	-	-
Latéroflexion	-	+/-	+	+/-
Rotation	-	+	+	+

- Mouvements de l'encolure:

Le **muscle splénius** agit durant la première partie de la phase d'appui de chaque membre antérieur. Il limite le mouvement de flexion de l'encolure. Son activité est plus intense lors de l'appui du membre antérieur controlatéral. Elle est réduite lorsque l'encolure du cheval monté est abaissée à l'aide des rênes. Les mouvements de l'encolure ont en effet une amplitude plus faible et la tension dans le ligament nuchal soutenant la tête et l'encolure est plus élevée dans ces circonstances.

Les **muscles sterno-céphaliques** ont comme au pas une activité réciproque du muscle splénius et contrôlent l'élévation de l'encolure.

Le **muscle brachio-céphalique** a une activité importante lors de la fin de la phase d'appui du membre antérieur ipsilatéral et lors de la phase de suspension. Il permet ainsi la protraction du membre antérieur ipsilatéral.

- Mouvements de la colonne thoraco-lombaire:

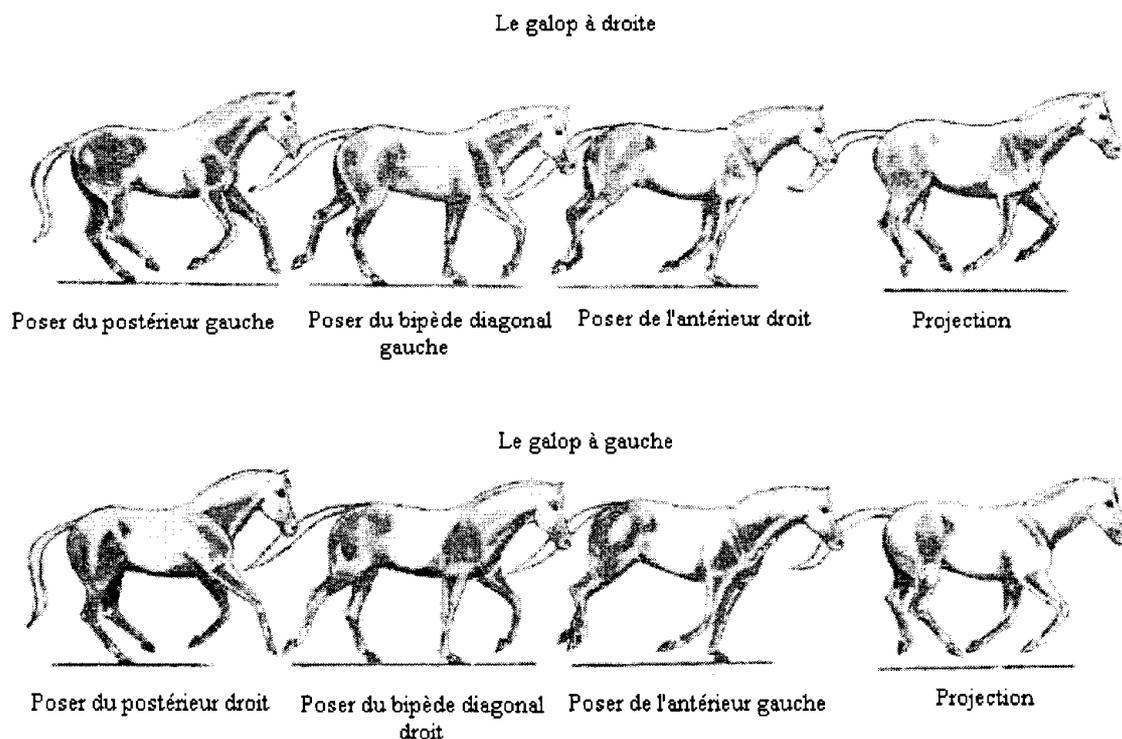
Les **muscles longissimus du thorax** agissent pendant la phase de suspension et à la fin de chaque phase d'appui. Ils entraînent une extension lombo-sacrée, facilitent la propulsion par les membres postérieurs et stabilisent la colonne thoraco-lombaire. L'extension du dos durant la première moitié de la phase d'appui de chaque bipède diagonal est alors un phénomène passif. Elle est due à l'accélération de la masse viscérale abdominale. Les muscles longissimus limitent ensuite la flexion du rachis durant la deuxième moitié de la phase d'appui.

Le **muscle droit de l'abdomen** est actif pendant la phase d'appui, il limite l'extension thoraco-lombaire passive induite par l'accélération de la masse viscérale.

### 2.2.3 Au galop

(7), (17), (23), (30), (35), (45), (86), (87)

Le galop est une allure dissymétrique, sautée, à trois temps, dont une phase de projection. Il existe deux mécanismes distincts: le galop à droite et le galop à gauche. Pour chaque paire de membres (antérieurs et postérieurs) le membre directeur se pose en avant et en dernier par rapport à son membre controlatéral qui est appelé membre non directeur. Ainsi au galop à droite, le membre antérieur droit est le membre directeur (figure 44).



**Figure 44: Décomposition du galop à droite et à gauche (37)**

Les mouvements de flexion et extension dominant et ont une plus grande amplitude que dans les autres allures, même s'il existe des mouvements de latéflexion et de rotation. Les mouvements les plus importants ont lieu au niveau de la jonction lombo-sacrée. Lors de la phase de propulsion, la flexion cervicale d'une part passive par le balancier cervico-céphalique et d'autre part active par les muscles cervicaux ventraux permet la transmission de l'impulsion à l'avant-main. L'extension thoraco-lombaire et lombo-sacrée résulte de la contraction des muscles erector spinae et fessier moyen. Lors de la phase de projection, la colonne cervicale subit un mouvement d'extension, tandis que les angles thoraco-lombaire et lombo-sacrée suivent un mouvement de flexion permis par les muscles ilio-psoas et par les muscles de la paroi de l'abdomen, favorisant ainsi l'engagement des membres postérieurs (tableau III).

**Tableau III: Mobilité régionale de la colonne vertébrale au galop (modifié d'après 87)**

	Segment cervical	Segment thoracique	Segment lombaire	Segment sacral
Flexion/Extension	++	+	+++	++
Latéflexion	+/-	+	-	-
Rotation	-	-	+	++

- Mouvements de l'encolure:

Les **muscles splénius** sont actifs durant la phase d'appui du bipède diagonal. Comme au trot, ils limitent l'abaissement de l'encolure et provoquent une extension cervicale lors de la phase de suspension et lors de la phase d'appui du membre antérieur directeur.

Les **muscles sterno-céphaliques** ont une activité réciproque des muscles splénius. Ils ont un rôle de la fin de la phase d'appui du membre antérieur directeur au début de l'appui du membre postérieur controlatéral.

Les **muscles brachio-céphaliques** sont principalement actifs durant la phase d'appui du membre antérieur directeur, ils permettent le déplacement du membre antérieur du côté opposé. Le muscle brachio-céphalique du membre directeur est actif durant la phase de projection. Cette asymétrie est liée à celle du galop.

- Mouvements de la colonne thoraco-lombaire

Les **muscles longissimus du thorax** sont actifs une fois par cycle de foulée: de la fin de la phase d'appui du membre antérieur directeur au début de la phase d'appui du membre postérieur controlatéral. Ils préparent le poser des deux membres postérieurs et provoquent une extension du tronc avant le poser du membre antérieur.

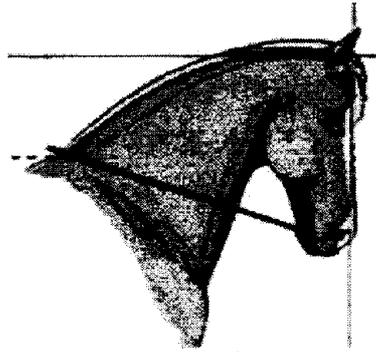
Le **muscle droit de l'abdomen** a une activité réciproque pendant la phase de soutien du bipède diagonal. Il soutient la masse viscérale et initie une flexion thoraco-lombaire pendant la phase d'appui du membre antérieur directeur.

Le **muscle oblique interne de l'abdomen** du côté sur lequel le cheval galope est actif pendant la phase de projection et contribue au soutien des viscères et à la latéflexion du tronc.

## 2.2.4 Lors des principaux mouvements de dressage

(17)

Le dressage est une discipline équestre qui impose le respect de certaines positions de la tête et de la nuque du cheval. Le règlement de la Fédération Equestre Internationale dit notamment que la nuque du cheval doit être le point le plus haut et que le chanfrein doit être très légèrement en avant de la verticale. On dit alors que le cheval est sur la main (figure 45). Cette position est très différente de l'attitude naturelle du cheval.



**Figure 45: Cheval sur la main (37)**

Il existe actuellement de nombreuses controverses au sujet de l'attitude du cheval recherchée dans cette discipline, certains préconisant plutôt une position basse : la nuque basse et fléchie et le chanfrein considérablement en arrière de la verticale.

(43)

La position de la nuque et de la tête du cheval a une influence sur les mouvements de la colonne thoraco-lombaire, comme le montre une étude de GOMEZ ALVAREZ et al réalisée en 2006 sur des chevaux non montés. On distingue deux grands types de positions : les attitudes hautes (extension cervico-thoracique) et les attitudes basses (flexion cervico-thoracique). Dans les attitudes hautes, la partie crâniale de la colonne vertébrale est en extension exagérée tandis que dans la partie caudale du rachis, le mouvement d'extension physiologique est limité. Au contraire dans les attitudes basses, la région crâniale de la colonne est fléchie alors que la région caudale subit une extension plus importante. Les impacts sur la cinématique de la colonne thoraco-lombaire sont d'autant plus grands que la position de la tête et de la nuque du cheval est extrême.

La position décrite ci-dessus (nuque basse et fléchie, chanfrein très en arrière de la verticale) entraîne une réduction de l'amplitude des mouvements de flexion/extension. Les mouvements de latéroflexion sont plus importants probablement pour compenser cette baisse d'amplitude. On observe également une diminution de la protraction des membres postérieurs, contraire à ce qui est recherché en dressage. Enfin, le confort des chevaux semble altéré.

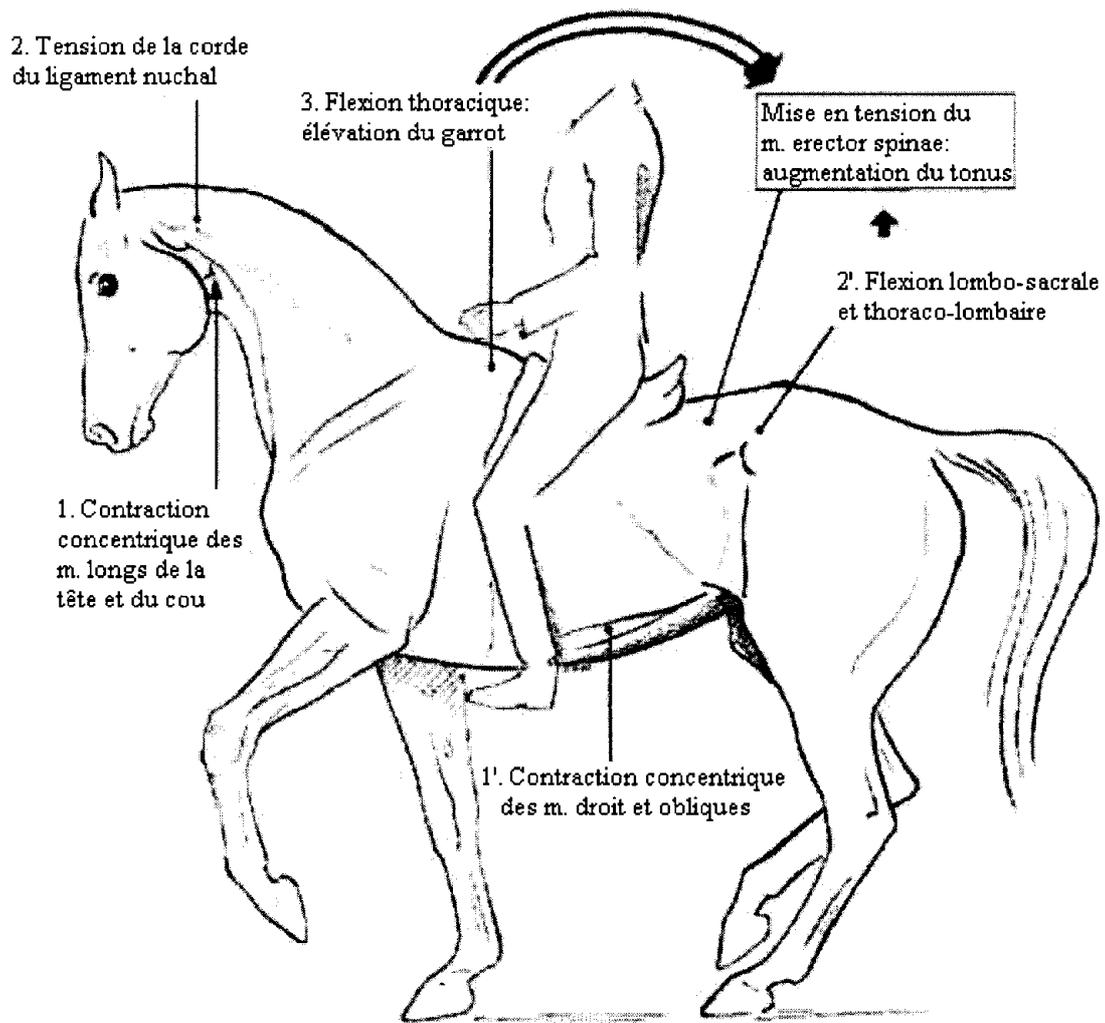
Nous considérerons dans cette approche biomécanique du dressage deux types de mouvements principaux demandés au cheval: le rassembler, but ultime de l'équitation et les déplacements latéraux au trot seulement, où la symétrie de l'allure permet une étude plus simple.

- Rassembler

(7), (27), (70), (76), (82)

Le rassembler est l'état d'équilibre supérieur du cheval demandé au cavalier en épreuve de dressage. La nuque doit être le point le plus haut, le chanfrein doit être légèrement en avant de la verticale. Il est réalisé par un fort engagement des membres postérieurs et un abaissement des hanches qui provoquent le relèvement et l'allègement de l'avant main (figure 46).

- Placer de la tête et de l'encolure: le cheval présente une **extension cervicale basse** et une **flexion cervicale haute**. Comme nous l'avons vu précédemment, l'extension cervicale basse est principalement due à la contraction de la terminaison du muscle erector spinae ainsi qu'à l'action des muscles cervicaux dorsaux: les muscles splénius, semi-épineux du cou, longissimus du cou et épineux du cou. La flexion cervicale haute résulte de la contraction concentrique des muscles long de la tête, long du cou et sterno-céphalique.
- Engagement des membres postérieurs sous la masse: il fait intervenir la **protraction des membres postérieurs** (orientation globale du membre en direction crâniale déterminée par l'articulation de la hanche), la **flexion thoracique** (élévation du garrot) et la **flexion de la jonction lombo-sacrée**. La flexion de la jonction lombo-sacrée met en jeu les muscles abdominaux (muscle droit de l'abdomen et muscles obliques externe et interne) et les muscles ilio-psoas, grand psoas et petit psoas. L'engagement des membres postérieurs dépend donc de la **puissance de la ligne du dessous** mais aussi de la **souplesse des muscles antagonistes** formant la ligne du dessus.

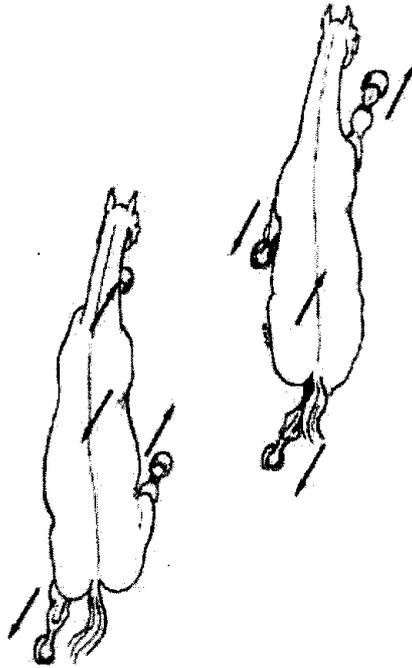


**Figure 46: Actions musculaires et courbures vertébrales d'un cheval au rassembler (27)**

- Déplacements latéraux

(7), (20), (21), (70), (82)

Les déplacements latéraux sont des mouvements de dressage nécessitant de la part du cheval un déplacement en diagonale et un croisement des membres. Ils ont une composante latérale et une composante longitudinale. Ils constituent de très bons exercices d'assouplissement et de musculation, aussi bien pour le cheval de dressage que pour le cheval de concours hippique. Les mouvements du rachis du cheval sont principalement des mouvements de latéroflexion et de rotation. Nous prendrons ici l'exemple de l'appuyer, il s'agit d'un déplacement sur une diagonale, le cheval étant incurvé dans le sens du déplacement, l'avant-main précédant légèrement l'arrière-main (figure 47).



**Figure 47: Réalisation d'un appuyer au trot vers la droite (20)**

Cet exercice a plusieurs objectifs : augmenter la mobilité et la disponibilité du cheval, assouplir latéralement le cheval, mobiliser les membres postérieurs et renforcer la musculature. On étudiera ici un appuyer au trot vers la droite.

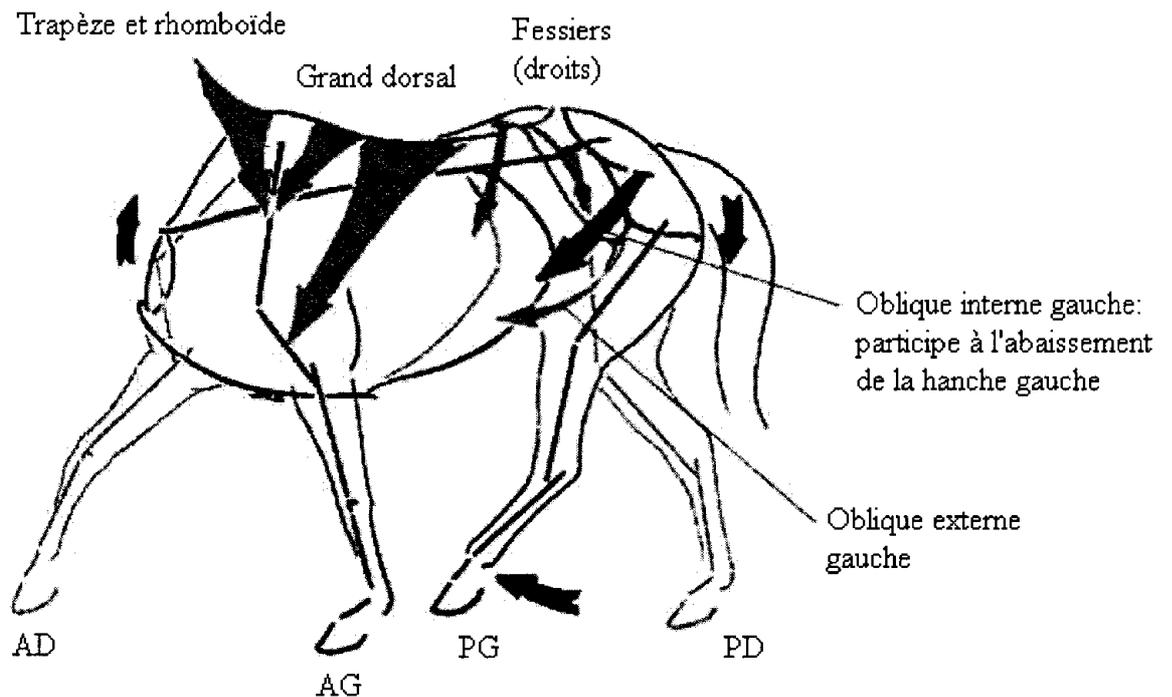
Lors d'un déplacement latéral, l'abduction des membres situés du côté du déplacement est facilitée par l'élévation de l'épaule ou de la hanche. Les membres situés du côté opposé au déplacement réalisent une protraction en adduction, alors que la protraction est facilitée par l'élévation de l'épaule ou de la hanche, tandis que l'adduction entraîne un abaissement de ces deux régions. Les principaux mouvements du rachis lors de la réalisation d'un appuyer sont des **mouvements de rotation et de latéroflexion**.

Les mouvements de **rotation** lors des deux phases d'un appuyer sont les suivants :

- Protraction du bipède diagonal droit (figure 48): C'est la phase d'écartement des membres antérieurs et de croisement des membres postérieurs. Elle est caractérisée par la protraction du membre antérieur droit et par l'engagement du membre postérieur gauche.

L'élévation de l'épaule droite est favorisée par l'abduction du membre antérieur droit et par la rotation du thorax vers la gauche. Celle-ci est due au travail concentrique des muscles trapèze et rhomboïde.

L'adduction du membre postérieur gauche est facilitée par l'abaissement de la hanche et par l'action synergique des muscles obliques externe et interne de l'abdomen et des muscles multifides gauches permettant une rotation du bassin vers la gauche.



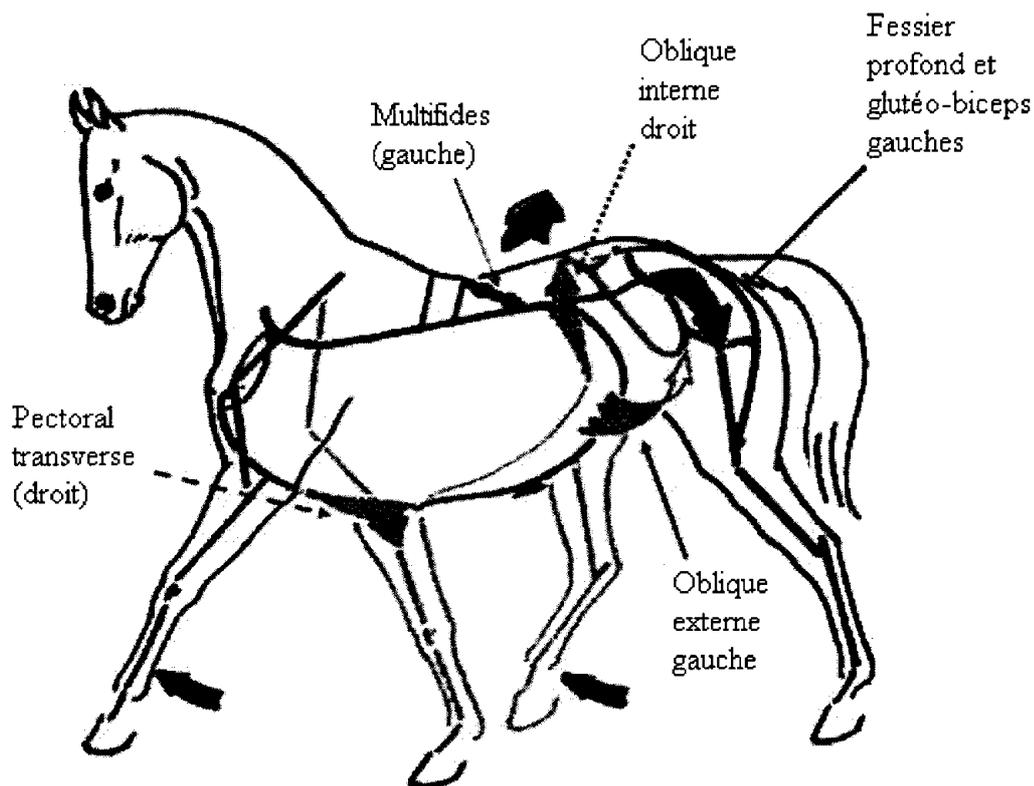
**Figure 48: Appuyer à droite : protraction du bipède diagonal droit (76)**

La colonne vertébrale subit une rotation active avec des mouvements confinés et amplifiés dans sa partie antérieure, où les actions musculaires sont intensifiées.

- Protraction du bipède diagonal gauche (figure 49): C'est la phase de croisement des membres antérieurs et d'écartement des membres postérieurs.

L'adduction du membre antérieur gauche est facilitée par l'abaissement de l'épaule gauche et par la rotation du thorax du côté opposé au déplacement, due à la contraction des muscles pectoraux à droite.

L'élévation de la hanche, facilitée par la bascule du bassin vers la gauche grâce à l'action des muscles fessiers profonds et glutéo-fémoraux gauches, permet l'abduction du membre postérieur droit. Les muscles multifides gauches agissent en synergie avec les muscles obliques externe et interne de l'abdomen et permettent la rotation du tronc vers la gauche.



**Figure 49: Appuyer à droite : protraction du bipède diagonal gauche (76)**

Les mouvements actifs de rotation sont amplifiés dans la partie postérieure du rachis. Au cours de chaque foulée, les mouvements de rotation sont intensifiés de façon alternative dans la partie antérieure puis dans la partie postérieure de la colonne vertébrale.

Les mouvements de **latéroflexion** du rachis lors de la réalisation d'un appuyer sont dus à l'incurvation donnée au cheval par le cavalier. Le cheval est incurvé dans le sens du déplacement. Ces mouvements ont donc lieu dans le sens du mouvement et sont le fait de l'action des muscles psoas, carré des lombes, obliques interne et externe de l'abdomen. Le muscle ilio-psoas subit une élongation maximale lors de la phase de propulsion par le membre postérieur du côté opposé au déplacement (le gauche dans le cas présent).

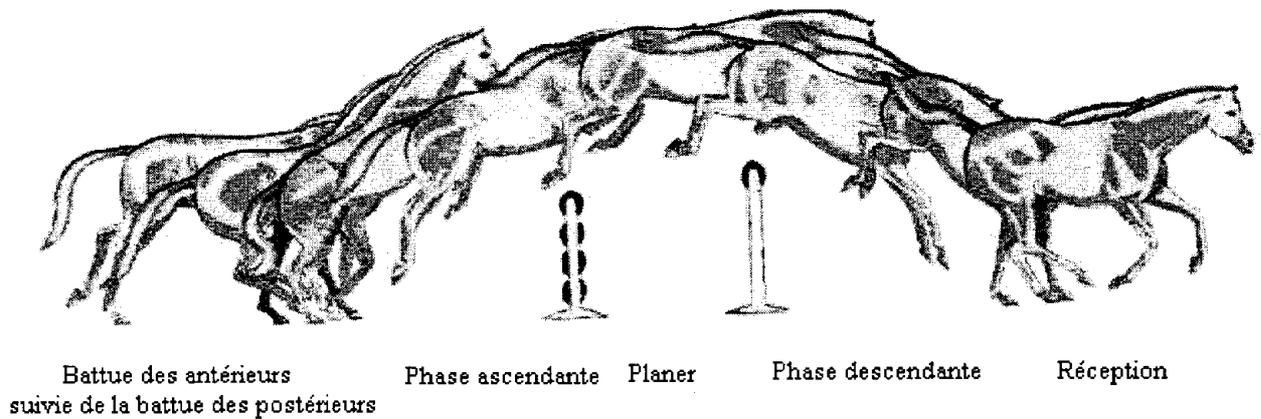
### 2.2.5 Lors du saut

(6), (12), (13), (17), (40), (42)

Le saut d'un obstacle consiste pour le cheval à élever son centre de gravité au-dessus de l'obstacle en utilisant au mieux la vitesse acquise pendant la phase d'abord et ses ressources musculaires. Cela sollicite très fortement le dos du cheval. En effet, lors du saut d'un obstacle, ce sont les mouvements de l'encolure, du tronc et des membres postérieurs qui ont la plus grande influence sur le mouvement global du corps du cheval. Les mouvements de flexion et d'extension de la colonne vertébrale sont amplifiés lors du saut par rapport aux autres allures du cheval et prédominent.

Le saut comprend plusieurs phases: la battue d'appel, la phase ascendante, le planer, la phase descendante et la réception (figure 50). La dernière foulée avant le saut, tout comme la

phase d'appel, revêt une importance capitale pour la réussite de celui-ci. Le cheval réduit l'amplitude et la durée de cette dernière foulée puis accroît ces deux paramètres pendant le saut. Ce phénomène biomécanique est nécessaire à la prise d'appel.

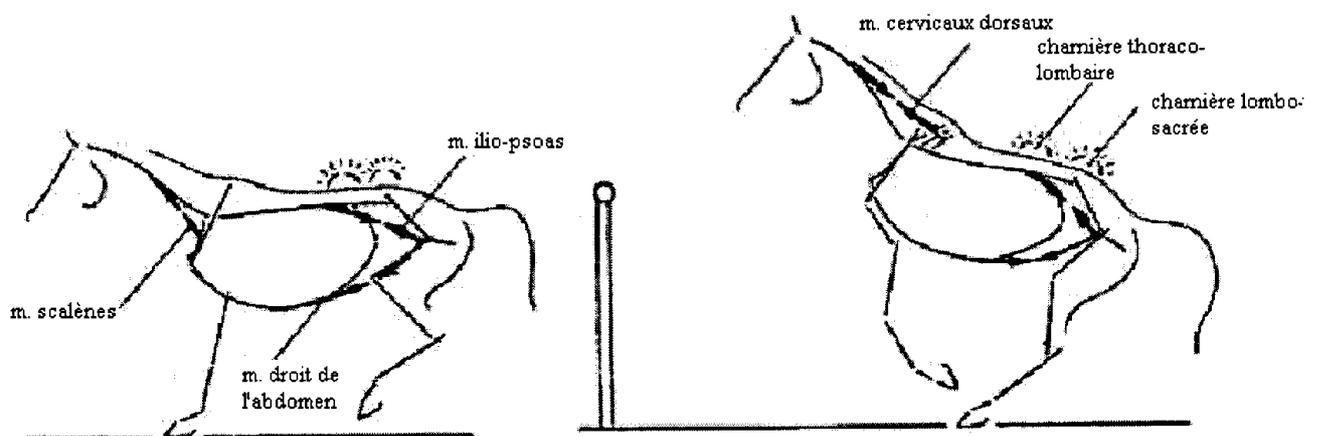


**Figure 50: Phases du saut (37)**

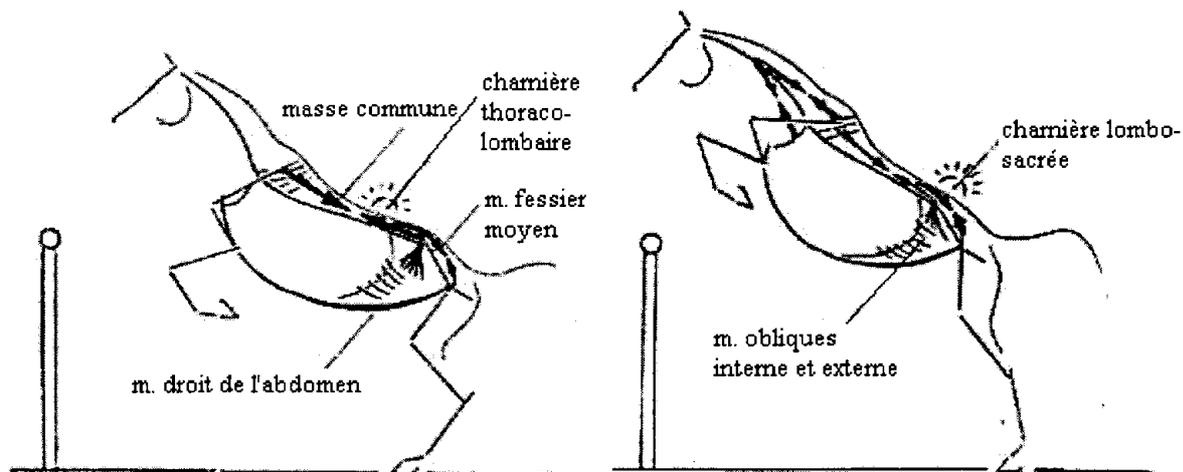
Les amplitudes de flexion/extension du dos du cheval lors du franchissement d'un obstacle (verticaux simples d'un mètre et d'un mètre cinquante) ont été mesurées dans une étude réalisée en 2004 (12).

Les mouvements des angles thoracique, thoraco-lombaire et lombo-sacral du cheval lors du franchissement d'un obstacle sont:

- lors de la dernière foulée d'abord (figure 51) : à la fin de la foulée, les trois angles dorsaux réalisent une flexion de grande amplitude selon une séquence caudo-crâniale. Cela permet l'engagement des postérieurs et l'élévation de l'avant-main.
- lors de la phase d'appel et de la phase ascendante (figures 51 et 52): la phase d'appel est l'élément principal contribuant à la réussite du saut. De la fin de la phase de suspension de la dernière foulée d'abord au moment où les postérieurs quittent le sol, le rachis passe d'un mouvement de flexion à un mouvement d'extension de plus faible amplitude. L'articulation thoraco-lombaire est la première à s'étendre. Lors de la phase ascendante, le rachis reste fixe, rectiligne.

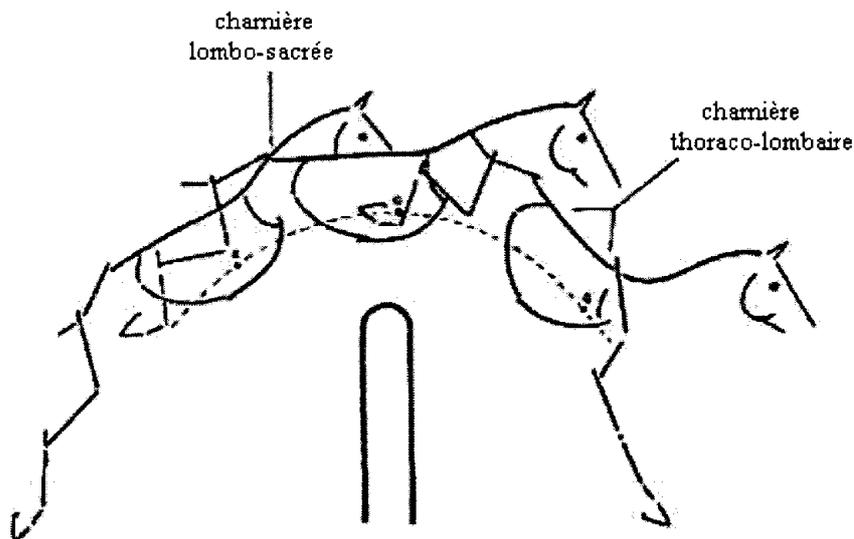


**Figure 51: Phase d'appel : battue des antérieurs et des postérieurs (modifié d'après 42)**



**Figure 52: Phase d'appel : soutènement puis détente des postérieurs (modifié d'après 42)**

- lors du planer (figure 53): le dos du cheval est dans une attitude d'extension générale, avec cependant des mouvements successifs de faible amplitude de flexion/extension. La charnière lombo-sacrée accroît son extension afin de faciliter le dégagement des postérieurs.
- lors de la phase descendante (figure 53): c'est le mouvement qui demande la plus grande extension de la colonne vertébrale. A la fin de cette phase, le rachis amorce un mouvement de flexion au niveau lombo-sacral.



**Figure 53: Phase ascendante, planer et phase descendante (modifié d'après 42)**

- lors de la réception: les trois charnières dorsales se fléchissent selon une séquence caudo-crâniale accompagnant le mouvement de ramener des postérieurs sous le corps. La flexion atteint son maximum à la fin de cette phase, les contraintes mécaniques sont alors maximales.

- lors de la foulée de reprise: dans la première partie de la foulée, le rachis du cheval réalise une extension générale.

De nombreux muscles mobilisateurs de l'axe vertébral sont donc mis en jeu lors du franchissement d'un obstacle.

Les muscles fléchisseurs responsables des mouvements de flexion du dos au cours du franchissement d'un obstacle sont les muscles droit et obliques externe et interne de l'abdomen (pour les articulations thoraco-lombaire et lombo-sacrée) et le muscle ilio-psoas (pour les articulations lombo-sacrée et coxo-fémorale). Les muscles abdominaux obliques ont également pour rôle de rigidifier l'axe vertébral.

Les muscles extenseurs permettant le saut d'un obstacle sont les muscles erector spinae et fessier moyen.

## **3 DORSALGIES**

(71)

Nous venons de voir dans les deux premières parties la complexité de l'anatomie du dos du cheval et de ses mouvements. De plus, il est toujours demandé aux chevaux de sport de courir plus vite, sauter plus haut ou réaliser des mouvements de plus en plus techniques et contraignants en dressage. Ainsi, le dos du cheval et notamment la musculature axiale sont très sollicités et de ce fait particulièrement sujets aux blessures.

Les dorsalgies sont les traductions cliniques et douloureuses de différents types de lésions ostéo-articulaires et musculaires du rachis.

Il existe malgré tout quelques moyens de prévention des dorsalgies à appliquer dans le travail quotidien du cheval :

- échauffer longuement le cheval
- augmenter progressivement la difficulté des exercices
- accorder de courtes périodes de repos en mettant le cheval au pas et des périodes d'étirement pendant l'entraînement
- éviter les tensions
- éviter la fatigue du cheval
- refroidir complètement le cheval après le travail avant de le rentrer au box.

Malgré ces mesures, les blessures du dos représentent une importante source d'inquiétude pour les propriétaires. En effet, le signe clinique principal en cas de dorsalgie est une baisse de performance.

Nous verrons tout d'abord quelles sont les affections principales du dos du cheval, puis nous étudierons les moyens d'investigation des dorsalgies dont nous disposons actuellement.

### **3.1 Principales affections du dos**

(14), (48), (52), (53), (57)

Les problèmes de dos peuvent être classés en trois grands groupes :

- les problèmes primaires : lésions thoraco-lombaires ou de la musculature axiale
  - les problèmes secondaires : lésions du squelette appendiculaire (boiteries généralement) ou axial exerçant des pressions et des tensions sur le rachis
  - les affections dorsales apparentes ou supposées qui n'ont pas toujours de base rationnelle.
- Affections primaires
    - **lésions des tissus mous :**
      - ◆ lésion traumatique du muscle longissimus
      - ◆ spasme musculaire
      - ◆ rhabdomyolyse d'exercice
      - ◆ lésion ou desmrite du ligament supra-épineux

- ◆ lésion ou desmrite du ligament sacro-iliaque dorsal
- ◆ lésion non spécifique des tissus mous

- **lésions osseuses et articulaires :**

- ◆ anomalie de conformation ou de développement, congénitale ou acquise : scoliose (déviation latérale de la colonne vertébrale associée à une rotation basculant les processus épineux dans la concavité), lordose (figure 55) (courbure à convexité ventrale de la colonne vertébrale), cyphose (figure 54) (courbure à convexité dorsale de la colonne vertébrale). Elles sont souvent indolores et difficiles à corriger.
- ◆ conflit des processus épineux : rapprochement ou contact entre deux ou plusieurs processus épineux successifs s'accompagnant d'un remaniement osseux et d'une réaction périostée locale
- ◆ ostéo-arthrose des processus articulaires : processus dégénératif affectant les articulations intervertébrales portées par les processus articulaires
- ◆ fracture des processus épineux : souvent multiples
- ◆ fracture du corps ou de l'arc vertébral
- ◆ spondylose : lésion ostéophytique se développant ventralement sur les vertèbres jusqu'à relier entre eux deux corps vertébraux adjacents
- ◆ discospondylose : processus dégénératif et ankylosant provoquant une ossification des fibres superficielles
- ◆ néoplasie (primaire ou secondaire).

- **troubles neurologiques :**

- ◆ myéloencéphalite à protozoaires
- ◆ myéloencéphalopathie dégénérative
- ◆ myéloencéphalite à herpès virus de type 1
- ◆ maladie du neurone moteur.

- **divers :**

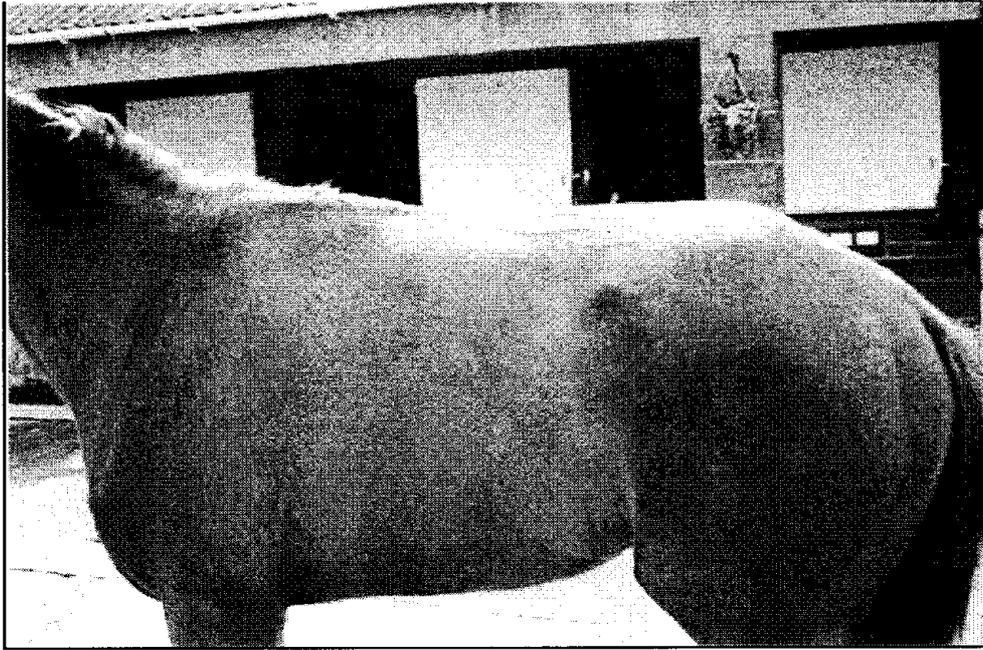
- ◆ défaut d'adaptation de la selle
- ◆ aucune anomalie décelée.

• Affections secondaires

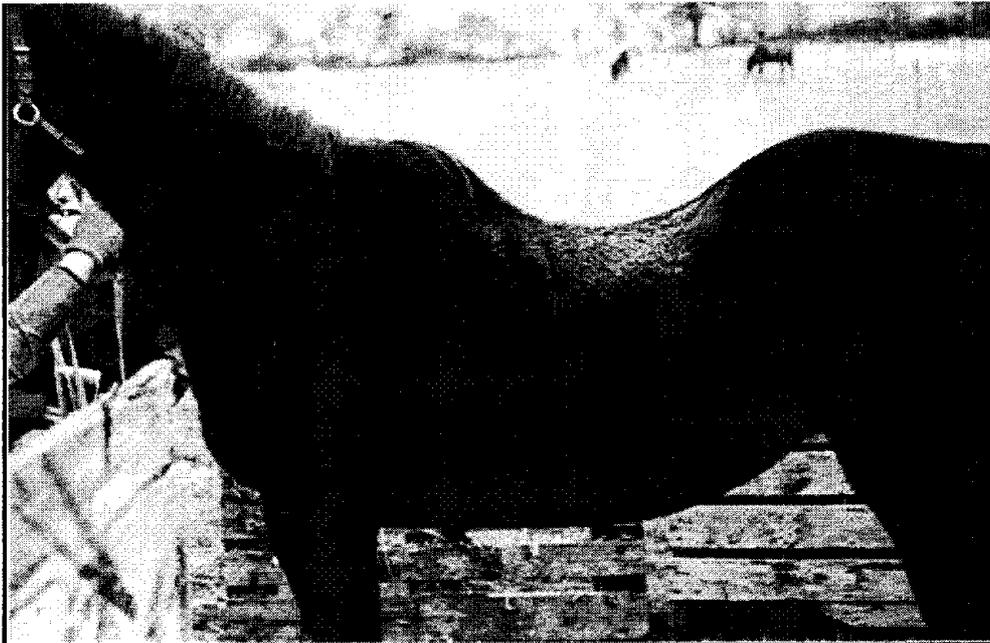
- boiterie des membres antérieurs ou postérieurs : dans une population de chevaux présentant une boiterie, environ 32% sont dorsalgiques, contre 12% dans une population de chevaux sans problème orthopédique
- lésion au niveau de l'encolure, lésion aiguë ou chronique d'une articulation sacro-iliaque, fracture pelvienne.

• Affections apparentes ou supposées

- problème de tempérament
- problème de souplesse
- défaut d'aptitude du cheval ou du cavalier
- problème dentaire.



**Figure 54: Cheval atteint de cyphose (14)**



**Figure 55: Cheval atteint de lordose (14)**

Une étude réalisée de 1972 à 1977 (52) sur 443 chevaux référés pour suspicion de dorsalgie donne la prévalence de ces différentes affections. Les affections primaires sont divisées en trois parties : lésions des tissus mous, problèmes de conformation et lésions vertébrales. Leur prévalence est la suivante :

- lésions des tissus mous : 38,8%
- problèmes de conformation : 2,9%
- lésions vertébrales : 38,6%

Les affections secondaires et les affections apparentes sont regroupées et concernent 12,6% des cas. Enfin dans 7,1% des cas, aucun diagnostic n'a pu être établi.

Les lésions des tissus mous ainsi que les lésions vertébrales sont donc majoritaires, avec une

très large prédominance des lésions musculaires et ligamentaires (22,4%) et des conflits de processus épineux (33,1%).

Il est important de noter que dans de nombreux cas, plusieurs lésions ont pu être identifiées.

Cependant, tous les auteurs ne sont pas d'accord entre eux à propos de la place à attribuer à chaque affection et les études réalisées aboutissent fréquemment à des résultats contradictoires.

### **3.2 Moyens d'investigation des dorsalgies**

(53)

L'investigation des dorsalgies est difficile et constitue un véritable défi pour le clinicien. Il faut faire face à de nombreux facteurs limitants :

- difficulté d'identification et d'évaluation de la douleur du cheval, notamment au niveau du dos
- absence de signes cliniques spécifiques et parfois même absence totale de signes cliniques
- palpation des structures anatomiques du rachis difficile voire impossible
- opinions divergentes au sein de la profession vétérinaire, mais aussi entre les vétérinaires, les physiothérapeutes, les propriétaires et les entraîneurs
- résolution spontanée des affections très fréquente (environ 65% des cas).

Le diagnostic se fait généralement plutôt par élimination des autres diagnostics différentiels que par l'identification de signes spécifiques liés à la douleur dorsale du cheval.

L'investigation d'une dorsalgie doit être faite de manière ordonnée, en recueillant tout d'abord l'anamnèse et les commémoratifs, puis en procédant à un examen clinique au repos et à un examen dynamique et enfin en utilisant une ou plusieurs techniques d'imagerie appropriées.

#### **3.2.1 Anamnèse et commémoratifs**

(14), (26), (41), (48), (50), (62), (66), (87), (89)

Les traductions des dorsalgies sont très nombreuses et diverses chez le cheval, et difficilement discernables des signes imputés à d'autres problèmes. Les motifs de consultation sont donc très variables.

Il est tout d'abord essentiel de recueillir les commémoratifs du cheval : âge, race, sexe (s'il s'agit d'une jument, la date des dernières chaleurs ainsi que son comportement pendant celles-ci sont à noter). Il faut également obtenir les renseignements suivants :

- la date d'acquisition du cheval
- les résultats de la visite d'achat s'il y en a eu une
- l'état de santé général du cheval
- la date et les circonstances d'apparition des premiers signes et leur évolution depuis
- le type de travail qui est demandé au cheval et le rythme de l'entraînement
- le niveau de performance du cheval

- le traitement éventuellement mis en place (anti-inflammatoires non stéroïdiens en général)
- la réponse au traitement
- les éventuels changements de mode de vie ou d'entraînement ainsi que les réponses obtenues
- le harnachement et notamment la selle, la sangle et l'embouchure utilisés pour le cheval
- le niveau et l'expérience du ou des cavaliers.

Les propriétaires peuvent ensuite rapporter au vétérinaire :

- une baisse de performance. C'est le critère le plus important lors de douleur chronique au niveau du dos. Cela peut se traduire par une baisse de l'enthousiasme du cheval au travail, une raideur des membres postérieurs, une perte de souplesse au niveau du dos, un refus inhabituel de franchir les obstacles, notamment certains types de combinaisons, un raccourcissement des foulées, des ruades à la réception des obstacles, des sauts à plat ou un défaut de bascule.
- un changement de comportement ou de tempérament du cheval, parfois insidieux et difficile à mettre en évidence
- une douleur sévère au niveau du dos associée à un antécédent de chute ou de traumatisme
- un antécédent de tirer au renard
- une réaction du cheval lors du pansage, lorsqu'on lui pose la selle sur le dos, lorsqu'on le sangle ou lorsqu'on lui prend les pieds postérieurs
- une difficulté à se déplacer latéralement dans le box
- le cheval se campe souvent lorsqu'il est au repos
- un refus de manger à même le sol, de se coucher ou de se rouler
- des difficultés à uriner ou déféquer
- des défenses au montoir
- au travail : le cheval bouge de façon inhabituelle la tête, fouaille de la queue, grince des dents, parfois tente même de désarçonner son cavalier ou rétive. Il peut également présenter une boiterie intermittente d'un ou des deux membres postérieurs, plus rarement des membres antérieurs. Dans ce cas, il faut avant tout éliminer les problèmes venant directement des membres.

Cependant de nombreux chevaux présentés au vétérinaire pour dorsalgie en raison d'une baisse de performance ou d'une incapacité du cheval au dressage ou au saut d'obstacle n'ont aucun problème de dos. Ces baisses de performance sont dues à l'entraînement du cheval, à son niveau ou au niveau de son cavalier qui peuvent être en inadéquation avec les efforts demandés au cheval.

### **3.2.2 Examen clinique au repos**

(14), (26), (31), (41), (48), (50), (62), (66), (68), (87), (89)

L'origine de la dorsalgie peut être très difficile à trouver, un examen clinique systématique et approfondi est donc nécessaire. De plus, les chevaux n'ont pas tous la même sensibilité naturelle, ce qui complique l'interprétation de certains points de l'examen clinique ainsi que les tests de palpation et de mobilisation du dos. L'éducation et les habitudes de chaque cheval entrent également en compte.

L'examen clinique a deux objectifs principaux :

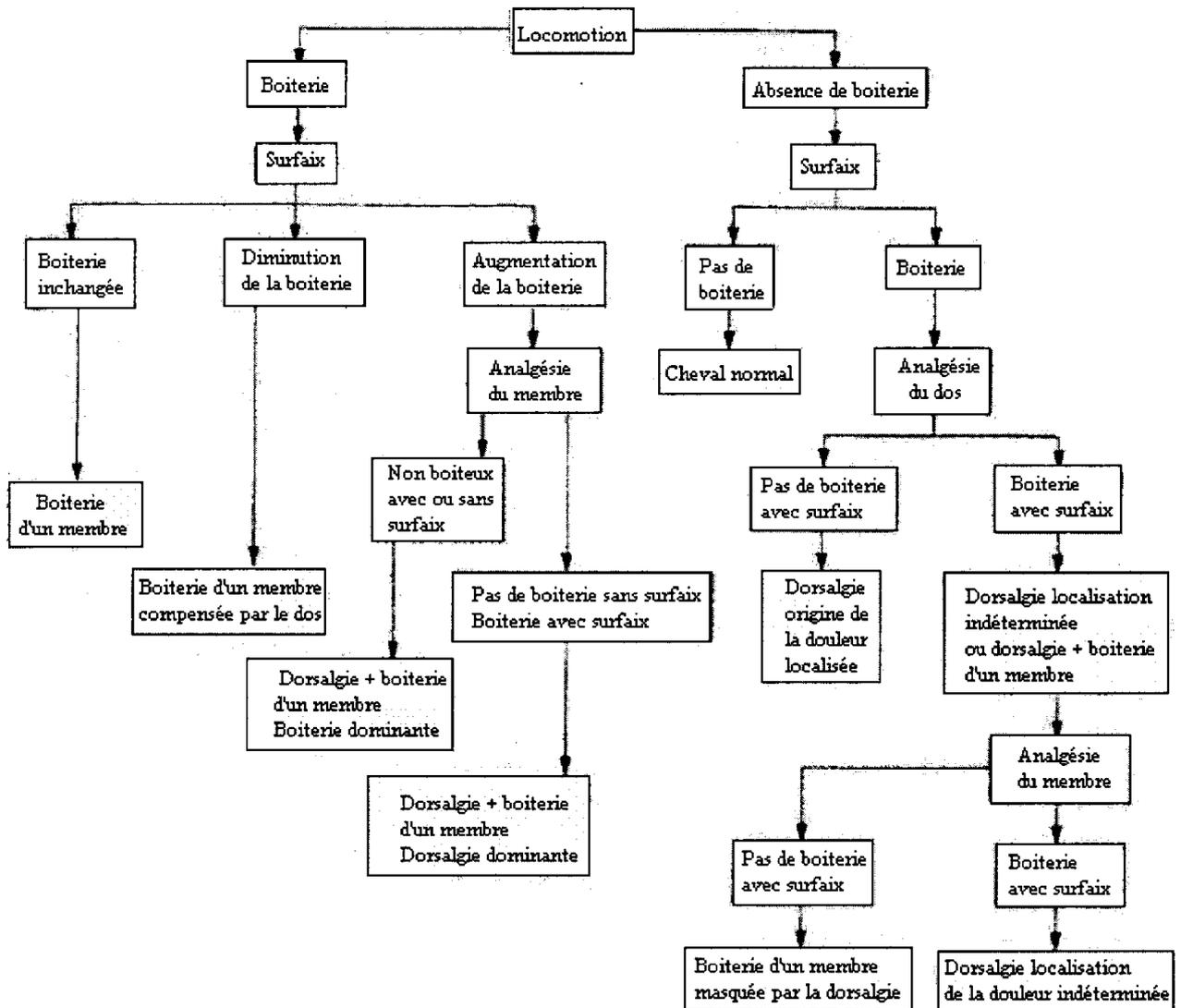
- objectiver l'existence de douleurs et de dysfonctionnements au niveau du dos ou du bassin
- déterminer quels sont les examens complémentaires nécessaires à l'établissement d'un diagnostic.

L'examen de la colonne vertébrale doit s'inscrire dans le cadre d'un examen orthopédique complet. Le cheval doit être examiné dans son ensemble, avec un examen classique complet des membres antérieurs et postérieurs. Après cela, en fonction de l'anamnèse et des premiers signes cliniques recueillis, le clinicien peut s'orienter vers une pathologie axiale.

A l'inverse, lors d'un examen pour problème locomoteur, un examen minimal des régions axiales doit être réalisé.

L'arbre décisionnel suivant (tableau IV) peut être utilisé d'après DESBROSSES (31) afin de déterminer les interférences entre boiterie et dorsalgie (le test au surfaix sera détaillé plus tard lors de l'examen dynamique, sa signification reste cependant très controversée) :

**Tableau IV: Conduite de l'examen clinique afin de déterminer les interférences entre dorsalgie et boiterie (modifié d'après 31)**

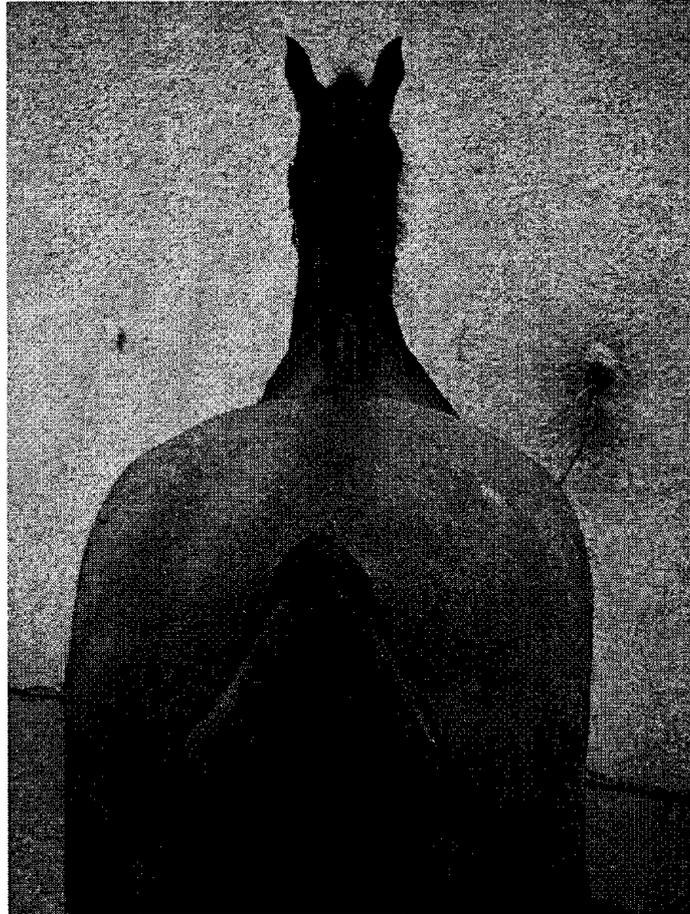


L'examen du cheval dorsalgique au repos comporte plusieurs étapes sémiologiques :

- l'inspection
- la palpation
- la pression
- la percussion
- la mobilisation active et passive
- la palpation transrectale.

- Inspection

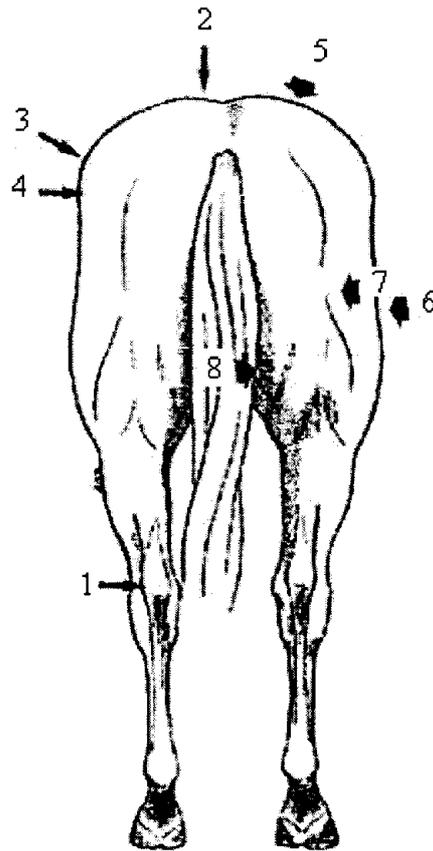
Il est important de réaliser une inspection du cheval dans son ensemble et de sa conformation (notamment la longueur du dos) de loin, de côté, de derrière et de trois-quarts. Les éventuelles attitudes anormales doivent être notées. Le cheval doit se tenir d'aplomb sur ses quatre membres et doit ensuite être observé du dessus afin de voir la ligne du dos (figure 56). L'état corporel et la musculature du cheval par rapport à son niveau d'entraînement sont évalués.



**Figure 56: Inspection de la ligne du dos du cheval (PRACH A.)**

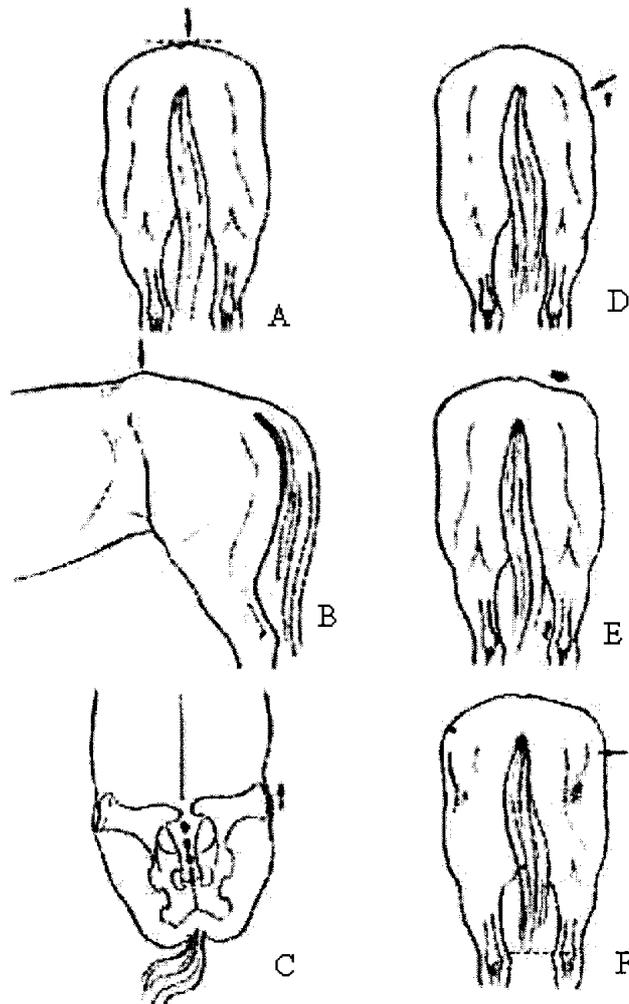
Lors de l'inspection du cheval de derrière, il convient d'établir la position des repères suivants (figure 57):

- **repères osseux** : hauteur respective des pointes des jarrets (1), position des épines iliaques dorso-crânielles (2), position des épines iliaques ventro-crânielles (3), symétrie des articulations coxo-fémorales (4)
- **reliefs musculaires** : musculature fessière (5), musculature fémorale crâniale (6), caudale (7) et médiale (8).



**Figure 57: Inspection du cheval de derrière (26)**

Les asymétries au niveau du bassin et les amyotrophies doivent être observées ainsi que la présence de tuméfaction, de cicatrice ou d'usure anormale des poils sur le dos, principalement sur le garrot et au niveau de la selle. La hauteur des épines iliaques dorso-crânielles et ventro-crânielles doit être étudiée (figure 58: le dessin A peut ainsi correspondre à une subluxation sacro-iliaque droite, le dessin B à une subluxation sacro-iliaque bilatérale, le dessin C à une déviation du bassin associée à une subluxation sacro-iliaque, le dessin D représente une fracture de l'épine iliaque ventro-crâniale, le dessin E une amyotrophie glutéale et le dessin F une élévation du grand trochanter associée à une fracture de l'acétabulum).



**Figure 58: Asymétries du bassin (26)**

Une incurvation latérale du rachis (scoliose) peut signifier un problème musculaire d'un côté. Les incurvations dorso-ventrales (cyphose et lordose) doivent aussi être notées. A cette étape de l'examen clinique, il est important pour la suite d'évaluer le caractère et le comportement du cheval. En effet, un cheval anxieux ou nerveux répondra aux stimulations de manière exagérée tandis que dans le cas d'un cheval stoïque, les réponses seront difficiles à interpréter.

- Palpation

Le cheval doit être calme et détendu. Une palpation superficielle, mains à plat, est réalisée de part et d'autre de la colonne vertébrale en regard du muscle erector spinae. Le cheval peut alors exprimer de la douleur. Les zones de chaleur, de contraction musculaire, les blessures et les cicatrices doivent être recherchées. La partie dorsale des processus épineux peut être palpée et il est possible d'identifier les espaces inter-épineux.

- Pression

Une pression est exercée tour à tour sur les processus épineux, le ligament supra-épineux et les muscles. La réaction du cheval au passage de la main sur le dos, du garrot à la base de la queue est alors étudiée. La pression effectuée avec le bout des doigts est progressivement plus

importante. De cette façon, un spasme du muscle longissimus ou un déplacement des processus épineux, peuvent être mis en évidence. Une hypertonicité, des fasciculations musculaires durant plus de deux secondes ou loin de la zone stimulée et des réactions de défense ou d'échappement sont considérées comme anormales. Cependant seules les réactions très sévères sont significatives. En effet certains chevaux réagissent fortement à ce test, seulement par vice ou mauvaise habitude.

Une pression doit être exercée au niveau de chaque pointe de la hanche et des vertèbres L4 et L5. Lorsque le cheval montre des signes de douleur ou d'inconfort, des dommages musculaires ou ligamentaires en région sacro-iliaque peuvent être suspectés.

- Percussion

La percussion peut être faite au marteau plessimétrique en caoutchouc ou au poing, mais il est préférable chez le cheval de la faire au poing. Elle est réalisée sur les processus épineux, les épines iliaques ventro-crânielles et dorso-crânielles.

La percussion digitale permet de faire l'étude des seuils de contraction du muscle longissimus.

- Mobilisation

La mobilisation est une étape importante de l'examen du cheval au repos. Ce test sémiologique et fonctionnel consiste à rechercher une éventuelle douleur et à évaluer la mobilité du rachis.

La mobilisation active est seulement possible au niveau de la colonne vertébrale cervicale.

Sept tests de mobilisation axiale passive sont réalisables au niveau du rachis :

- stimulation de la zone thoracique concave en arrière du garrot → extension thoracique
- stimulation de la région thoraco-lombaire → extension thoraco-lombaire
- stimulation à côté des épines iliaques dorso-crânielles → extension lombo-sacrée
- stimulation de la région sternale → flexion thoracique
- stimulation entre la pointe des fesses et la base de la queue → flexion globale du rachis
- stimulation de la pointe des fesses et de la région costale du côté opposé → latéroflexion thoraco-lombaire de chaque côté.

Ces tests sont significatifs. Ils consistent en l'application de stimulations musculocutanées entraînant une réaction stéréotypée par réflexe du cheval. La réaction normale consiste en l'exécution calme et progressive du mouvement.

Il faut apprécier quatre critères lors de la réalisation des tests de mobilisation :

- la contraction musculaire
- l'attitude et la tolérance du cheval
- l'amplitude du mouvement induit
- le temps de décontraction

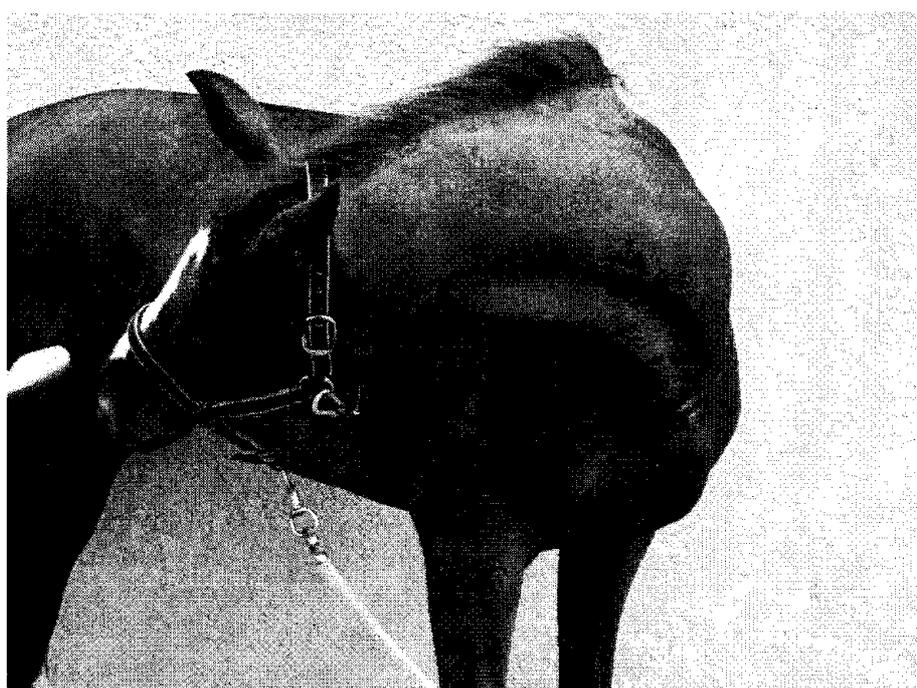
Lorsque le cheval montre de la douleur ou de l'inconfort en réponse à ce test, cela signe souvent l'existence de spasme du muscle longissimus (d'un ou des deux côtés).

L'encolure doit aussi être palpée dans toute sa longueur. La capacité du cheval à lever, baisser et tourner la tête des deux côtés doit être vérifiée. On réalise une mobilisation active

de l'encolure avec une latéroflexion cervicale basse de chaque côté (figure 60) et une flexion cervicale basse (figure 61). La latéroflexion cervicale haute à droite et à gauche est faite à l'aide d'un test de mobilisation passive (figure 59).



**Figure 59: Latéroflexion cervicale haute passive (PRACH A.)**



**Figure 60: Latéoflexion cervicale basse active (PRACH A.)**



**Figure 61: Flexion cervicale basse active (PRACH A.)**

Des tests de protraction et rétraction des deux membres antérieurs sont réalisés et comparés entre la droite et la gauche. Ils peuvent mettre en évidence une douleur en région thoracique crâniale ou thoracique moyenne.

- Palpation transrectale

Les avis des auteurs diffèrent sur la question de l'utilité de la palpation transrectale dans l'investigation des dorsalgies. Les risques de lacération rectale sont à prendre en considération. Lorsqu'elle est réalisée, il faut obtenir au préalable le consentement éclairé du propriétaire.

Elle permet de déceler certaines lésions des tissus mous, pathologies osseuses ou instabilités articulaires de la région sacro-pelvienne qui ne peuvent être mises en évidence extérieurement.

### **3.2.3 Examen en mouvement**

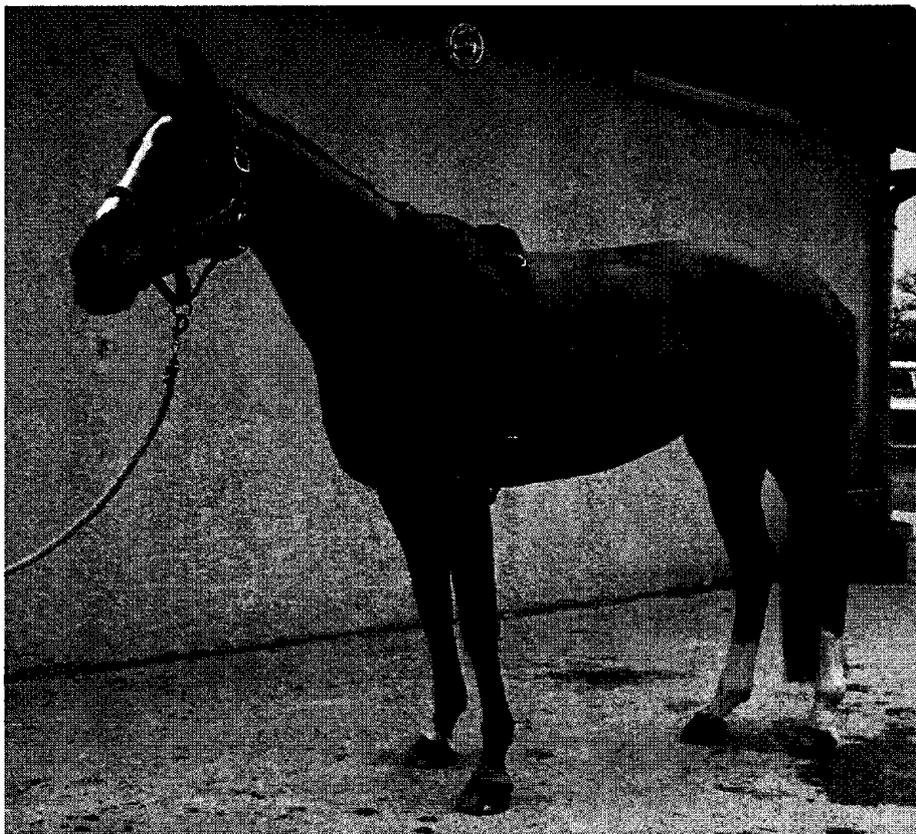
(14), (26), (41), (48), (50), (62), (66), (68), (87), (89)

Le cheval doit dans un premier temps être observé en marche en main en ligne droite,

au pas et au trot de face, de dos et de côté. En cas de dorsalgie, le cheval traîne souvent les postérieurs (un ou les deux) et fléchit son jarret avec une amplitude moins grande qu'un cheval sain.

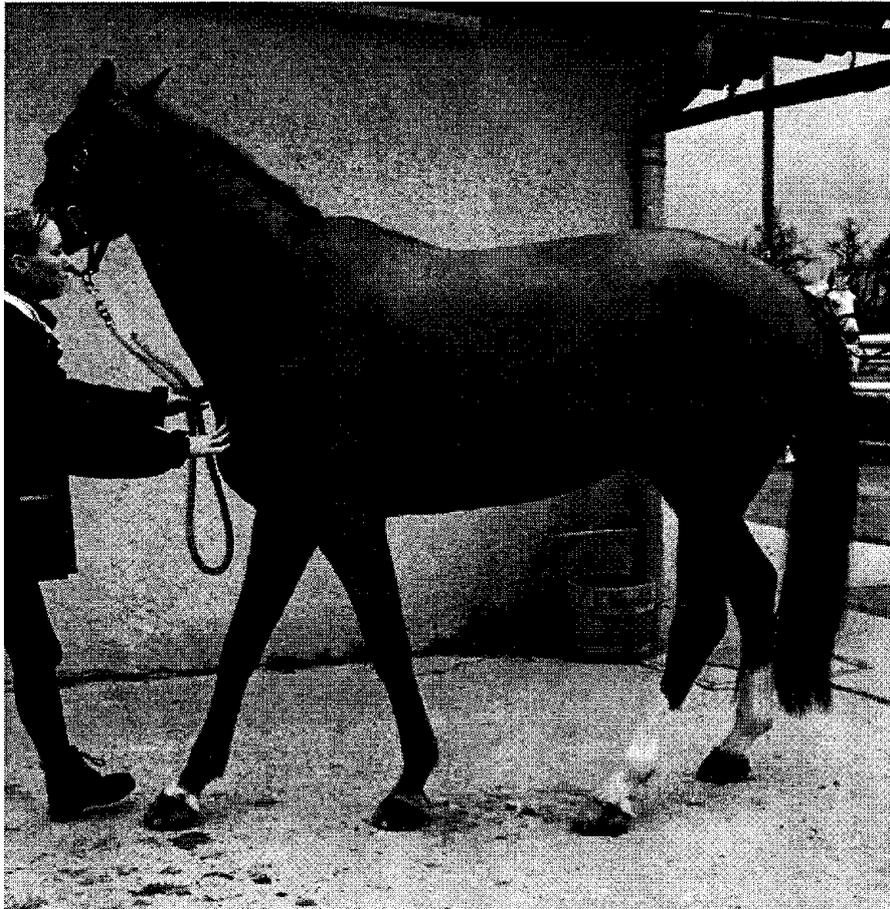
Le cheval doit ensuite marcher en effectuant des tournants très serrés dans les deux directions. Des mouvements saccadés et des spasmes musculaires dorsaux peuvent être observés.

Le test du surfaix, réalisé assez tôt dans l'examen afin que le cheval ne soit pas échauffé, peut mettre en évidence chez le cheval dorsalgique des réactions de défense, une flexion vertébrale, des sauts de mouton, des croupades voire un refus d'aller vers l'avant. La pose du surfaix provoque une contraction réflexe du muscle erector spinae (figure 62). Le cheval doit être observé sur le cercle aux trois allures et aux deux mains. Il peut révéler des douleurs présentes en région thoracique et en région lombaire crâniale (de C7 à L4).



**Figure 62: Test du surfaix (PRACH A.)**

Un mouvement de reculer peut être demandé au cheval. Il peut également être à l'origine de spasmes musculaires (figure 63).

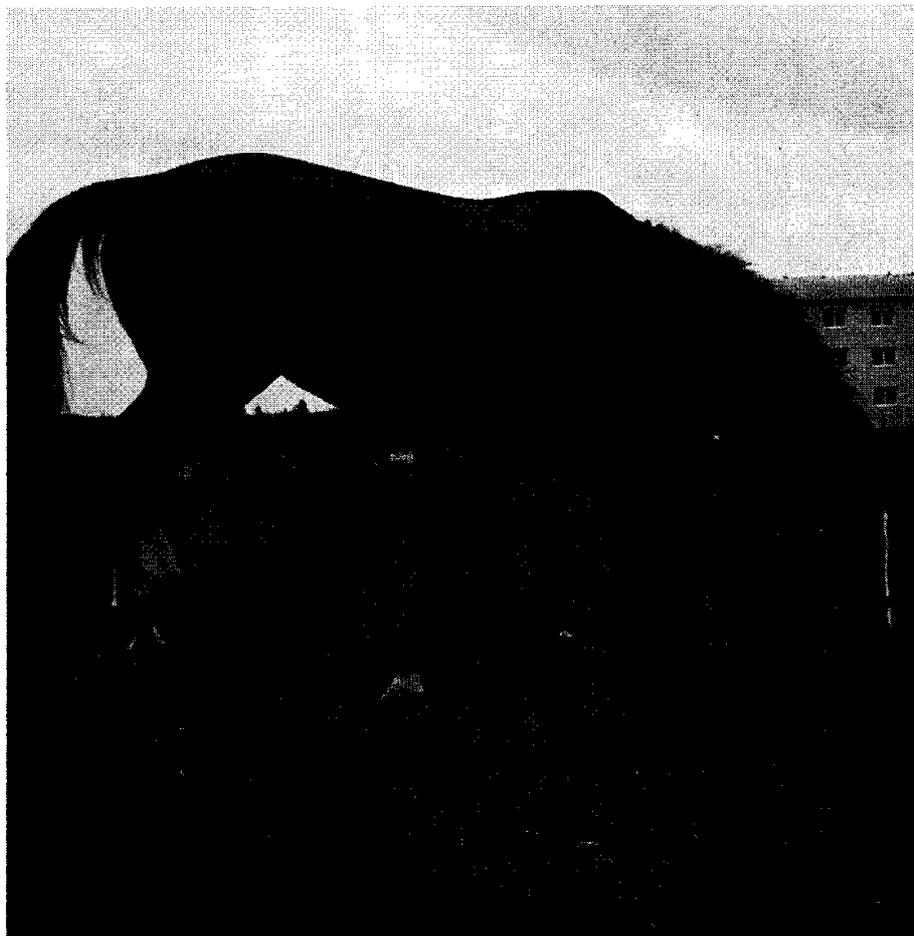


**Figure 63: Reculer (PRACH A.)**

L'observation du cheval en montée (figure 64) et en descente (figure 65) peut amener à la suspicion d'un problème chronique sacro-iliaque en cas de difficultés.



**Figure 64: Observation du cheval marchant en montée (PRACH A.)**



**Figure 65: Observation du cheval marchant en descente (PRACH A.)**

Des tests de flexion des membres peuvent également être réalisés. En effet, lors de problème au niveau de l'articulation sacro-iliaque, les tests de flexion du membre postérieur peuvent conduire à une boiterie du membre controlatéral.

Le cheval est par la suite observé à la longe aux deux mains pendant environ quinze minutes. Cela permet de réaliser l'analyse de ses allures, des mouvements de la tête, du rachis et de la queue et éventuellement de mettre en évidence une amélioration à chaud de la locomotion du cheval.

(15)

Le cheval est préparé pour être monté. C'est l'occasion d'évaluer la selle, le tapis et les éventuels amortisseurs utilisés. En effet une selle mal adaptée au cheval entraîne souvent l'apparition de pressions ou de pincements dans la région du garrot. La selle doit avoir des panneaux larges et souples afin de répartir au mieux le poids du cavalier sur la musculature épi-axiale thoraco-lombaire. Ceci peut être contrôlé à l'aide de mesures de pression sur un tapis assistées par ordinateur, avec un cavalier, en statique et en dynamique aux différentes allures. Idéalement, l'espace entre le pommeau de la selle et le haut des processus épineux du garrot du cheval doit être d'environ deux à trois doigts. La selle doit posséder une gouttière

vertébrale. L'avant de la selle doit être légèrement évasé vers l'extérieur pour permettre la rotation du bord caudal de la scapula pendant la phase de protraction du membre antérieur, sans quoi on observe un raccourcissement de la foulée des membres antérieurs. L'arçon doit être suffisamment ouvert pour ne pas pincer le dos du cheval, mais pas trop ouvert pour ne pas être en contact avec les processus épineux vertébraux. Lorsque la selle est posée sur le dos, la sangle doit tomber en face du passage de sangle, correspondant à un resserrement thoracique en arrière du coude.

L'usage des tapis de selle et des amortisseurs doit à l'origine permettre un dégagement du garrot et des processus épineux. Cependant, les amortisseurs utilisés sont généralement moins étendus vers l'avant que les panneaux de la selle et entraînent une concentration des forces au bord de l'amortisseur, correspondant généralement au bord caudal de la scapula. L'adéquation entre le tapis de selle, l'amortisseur et le cheval peut être évaluée en observant les zones de saleté et de sudation sur le tapis et l'amortisseur.

Il ne faut pas oublier de s'assurer du bon ajustement des couvertures que peut porter le cheval, elles peuvent en effet causer de sévères blessures au niveau du garrot.

Après cette vérification du matériel, le cheval est sellé. Ses réactions doivent être attentivement observées, notamment au moment du sanglage. Il est ensuite observé au travail. Dans la mesure du possible, il doit être monté par son cavalier habituel. L'évaluation doit être faite au pas, au trot, au galop et sur des obstacles du profil de ceux posant problème au couple.

### 3.2.4 Examen neurologique

(8), (10), (38)

Une douleur au niveau du dos ou une altération de la locomotion du cheval peuvent être le signe d'une atteinte neurologique. Il est donc nécessaire de réaliser un examen neurologique dans le cadre de l'investigation d'une dorsalgie.

L'objectif de cet examen est d'objectiver l'éventuelle présence d'une atteinte neurologique, puis en cas d'atteinte neurologique de localiser anatomiquement la lésion et enfin d'établir un diagnostic.

Les commémoratifs, l'anamnèse et les observations faites lors de l'examen clinique au repos et lors de l'examen en mouvement doivent être pris en compte.

Lors de l'examen au repos une attention particulière doit être portée au comportement général du cheval, à sa posture et à son port de tête. A la palpation, une douleur, une asymétrie, des dommages musculaires, des zones de sudation et des zones de sensibilité cutanée diminuée sont à rechercher. Les tests de flexion et d'extension cervicale et de latéreflexion vertébrale thoracique et lombaire réalisés lors de l'examen clinique au repos sont également importants pour l'examen neurologique.

Lors de l'examen en mouvement, on recherche surtout des signes de parésie ou d'ataxie.

L'examen neurologique se poursuit par l'examen des nerfs crâniens et par la réalisation des différents réflexes :

- réflexe thoraco-laryngé (slap-test, une pression appliquée au niveau du garrot d'un côté entraîne l'adduction du cartilage aryténoïde controlatéral)
- cervico-facial (une stimulation de la région antérieure à C3-C4 entraîne une contraction de certains muscles de la face)
- cervical local (il est réalisé en dessous de C4 et correspond au réflexe du pannicule charnu en région dorsale)

- panniculaire
- périnéal.

Le bilan des anomalies décelées permet normalement la localisation neuro-anatomique de la lésion et oriente vers les examens complémentaires appropriés.

### 3.2.5 Examen radiographique

(3), (14), (26), (47), (48), (50), (89), (90)

La radiographie est une technique d'imagerie très importante pour le diagnostic des pathologies du dos du cheval. Elle est celle qui présente le meilleur rapport coût/bénéfice diagnostique.

Cependant, il faut faire face à de nombreuses difficultés techniques. L'examen radiographique est en effet limité à certaines zones du dos de part la taille du cheval adulte et la grande quantité de tissus mous superposés à la colonne vertébrale. Un équipement spécifique et un appareil très puissant sont nécessaires pour obtenir des radiographies de qualité du dos du cheval. Les variations de densité des différentes structures anatomiques sont importantes, il est donc nécessaire de prendre une série de clichés pour avoir un ensemble de renseignements suffisant.

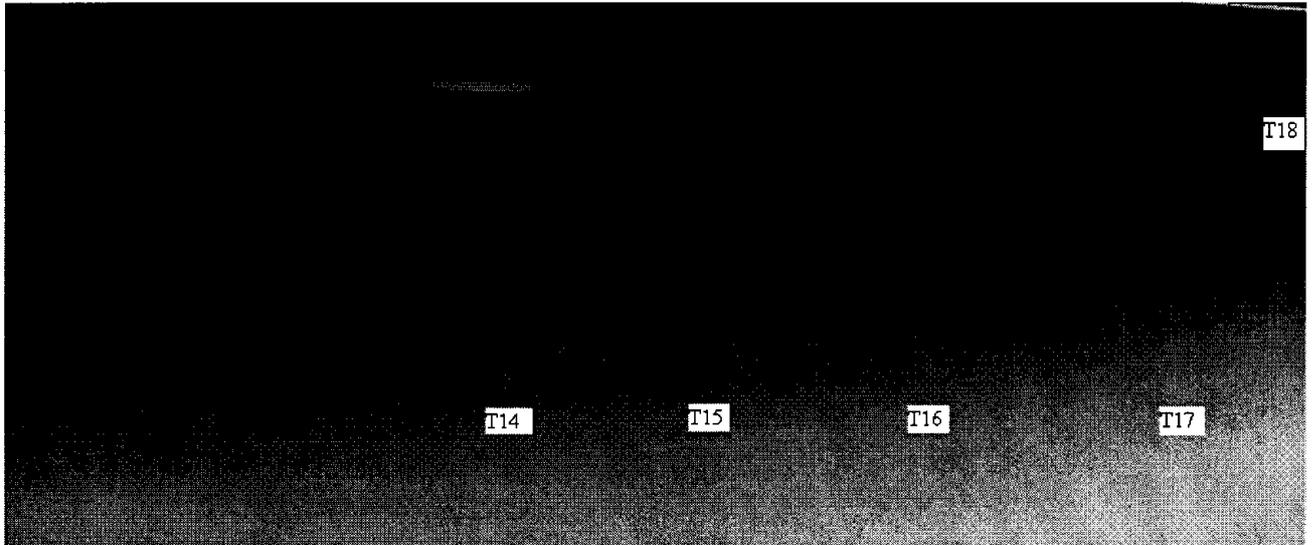
Elle est indiquée pour des zones spécifiques où l'on suspecte une pathologie après les examens précédents, après un examen par une autre technique d'imagerie et lors d'investigation générale d'une douleur dorsale.

L'examen radiographique peut être réalisé sur cheval debout ou sous anesthésie générale. Seule la région thoraco-lombaire crâniale peut être étudiée sur cheval debout. Le cheval doit être bien d'aplomb sur ses quatre membres sur une surface plane. Une sédation est généralement nécessaire. Caudalement à la vertèbre lombaire L3 cet examen n'est possible que sur des foals, des poneys fins et de petite taille ou sous anesthésie générale sur les chevaux adultes. La région sacro-iliaque reste difficile à évaluer, même dans ces conditions.

Les anomalies pouvant être mise en évidence par un examen radiographique des vertèbres T1 à L3 sont les suivantes :

- hypoplasie congénitale ou acquise du processus articulaire
- présence d'une hémi-vertèbre (anomalie congénitale)
- fusion congénitale des corps ou processus vertébraux thoraco-lombaires
- lordose (convexité ventrale du rachis)
- scoliose (déviation latérale du rachis)
- **conflit des processus épineux**, fréquent en région thoracique T10-T18 (figure 66). Il existe plusieurs grades de conflits des processus épineux fondés sur les modifications radiographiques observées.
- **ostéo-arthrose des processus articulaires** (très difficile à évaluer, à moins d'avoir réalisé une radiographie d'excellente qualité), lésion fréquente en régions thoracique et lombaire souvent cliniquement significative, se traduisant sur les clichés radiographiques par des remodelages péri-articulaires, des remaniements osseux, des modifications de l'espace articulaire, des fragmentations et de l'ankylose.
- lésions au sommet des processus épineux, principalement en région thoracique T8-

- T12, pouvant entraîner des lésions au niveau de l'insertion du ligament supra-épineux
- **fracture du corps vertébral**, fréquente en régions thoracique et lombaire, notamment T1-T3, T9-T16 et L1-L6
  - **fracture du processus épineux**, surtout dans la région du garrot entre les vertèbres thoraciques T1 et T12 (antécédents de chute)
  - spondylose ventrale des corps vertébraux
  - ostéomyélite du corps vertébral, rare, observée principalement chez les foals et les jeunes chevaux
  - ostéomyélite du processus épineux, en région thoracique T4-T7 surtout
  - néoplasie d'une vertèbre, très rare.



**Figure 66 : Conflit des processus épineux entre T14 et T15, diminution des espaces inter-épineux et irrégularité des sommets des processus épineux de T15 à T18 (VetAgro Sup, imagerie médicale)**

### 3.2.6 Examen échographique

(14), (29), (48), (56), (69), (79), (91)

L'examen échographique est la technique d'imagerie de choix pour évaluer l'intégrité des tissus mous superficiels du rachis. Elle est non invasive, simple à mettre en œuvre et réalisable avec un appareil portable. Elle peut être réalisée par voie transcutanée ou par voie transrectale.

L'échographie transcutanée permet d'observer :

- le ligament supra-épineux
- le ligament inter-épineux
- les espaces inter-épineux
- les muscles : les muscles visibles lors de l'examen échographique sont les muscles longissimus, multifide et ilio-costal
- les processus épineux et les processus articulaires des vertèbres thoraciques et lombaires
- les processus transverses lombaires
- les ligaments sacro-iliaques dorsaux

- les surfaces latérales du sacrum.

L'examen échographique par voie transrectale permet d'évaluer :

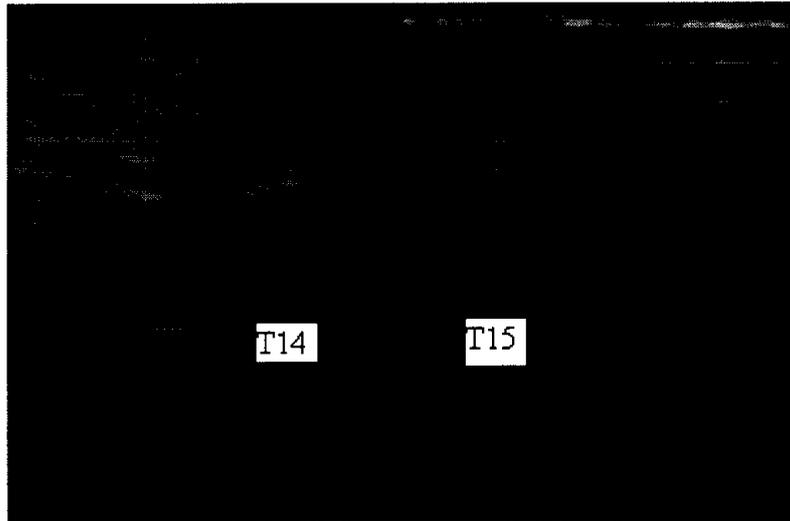
- le sacrum
- la partie ventrale des articulations sacro-iliaques
- la jonction lombo-sacrée.

Cet examen peut être indiqué après la mise en évidence d'une anomalie lors de l'examen clinique, après la mise en œuvre d'une autre technique d'imagerie, dans l'investigation générale d'une dorsalgie ou d'une baisse de performance, en cas d'asymétrie des épines iliaques dorso-crânielles, en cas de boiterie ne rétrocedant pas avec les anesthésies sémiologiques des membres postérieurs, en cas de réponse positive à l'anesthésie de l'articulation sacro-iliaque ou en cas de traumatisme connu dans la région lombo-sacrée. On obtient généralement de meilleurs résultats lorsque l'échographie est réalisée après un premier examen radiographique.

Les limites de l'examen échographique sont liées à l'impossibilité d'évaluation de l'architecture osseuse et à l'absence d'accès ventral en régions thoracique et lombaire.

Les anomalies pouvant être mises en évidence par un examen échographique sont les suivantes :

- hypo-échogénéité de la région intermédiaire ou profonde du ligament supra-épineux (desmopathie aiguë) (figure 67)
- épaississement, hyper-échogénéité ou modification de l'orientation des fibres du ligament supra-épineux (blessures chroniques)
- enthésopathie du ligament supra-épineux (figure 67)
- conflit des processus épineux, préférentiellement entre les vertèbres T10 et T18 (figure 67)
- fracture des processus épineux, dans la région du garrot surtout
- anomalies d'alignement et d'orientation des processus épineux
- anomalies congénitales de conformation des vertèbres, spina bifida notamment
- ostéo-arthrose des processus articulaires (asymétrie de taille des processus articulaires, agénésie unilatérale d'un processus articulaire, ankylose bilatérale, proliférations osseuses péri-articulaires en région dorsale des articulations intervertébrales)
- fracture d'un processus transverse au niveau de la jonction thoraco-lombaire
- anomalies de conformation ou d'échogénéité du disque intervertébral lombo-sacré
- épaississement, hypo-échogénéité, hyper-échogénéité ou absence du disque intervertébral au niveau de L5
- déchirure musculaire ou myosite des muscles longissimus et multifide.



**Figure 67 : Chevauchement et remodelage osseux des processus épineux T14 et T15 associés à une desmopathie et une enthésopathie du ligament supra-épineux (VetAgro Sup, imagerie médicale)**

### **3.2.7 Anesthésies sémiologiques**

(41), (50)

L'investigation des dorsalgies peut être poursuivie par la réalisation d'anesthésies sémiologiques, elles sont cependant peu nombreuses. Elles sont souvent faites sous contrôle échographique.

A la suite d'un examen radiographique montrant un conflit des processus épineux, le diagnostic peut être confirmé en réalisant des anesthésies locales dans les espaces inter-épineux. Après les injections, les sites sont massés, le cheval est marché en main environ dix à quinze minutes puis il est évalué à nouveau sur le ou les exercices posant problème lors de l'examen dynamique.

En cas de suspicion de lésion en région sacro-iliaque, une infiltration avec un anesthésique local peut être réalisée afin de confirmer l'origine de la douleur.

Il est possible de réaliser dans certains cas des infiltrations diagnostiques et thérapeutiques. Un mélange de corticostéroïde et d'anesthésique local ou un corticoïde seul est utilisé pour cela.

### **3.2.8 Examen scintigraphique**

(1), (11), (14), (48), (67), (90)

Cet examen encore peu réalisé chez le cheval en France est utilisé depuis de nombreuses années dans l'investigation des douleurs dorsales chez l'homme. Cependant, le recours à l'examen scintigraphie est courant dans d'autres pays comme l'Angleterre, la Suisse ou les Etats-Unis. Il consiste en l'injection intraveineuse de radionucléides puis en la détection des points de radioactivité augmentée dans le tissu osseux à l'aide d'une gamma-

caméra. Contrairement à la radiographie, la scintigraphie permet la visualisation du dos dans toute sa longueur, notamment des régions lombaires caudale et lombo-sacrée, et l'identification de remodelages osseux actifs. C'est une technique d'imagerie très sensible pour détecter les anomalies du métabolisme osseux. L'examen scintigraphique permet la localisation du problème mais ne permet pas d'identifier la lésion.

Cependant l'interprétation des images de scintigraphie peut être délicate. En effet une augmentation de l'absorption des radionucléides ne doit pas toujours être assimilée à une pathologie. Elle peut être liée à un remodelage physiologique. Il faut donc toujours mettre en parallèle les résultats de l'examen scintigraphique avec l'examen clinique et les images obtenues par d'autres techniques.

De plus, il existe une limite majeure à cet examen : dans de nombreuses situations cliniques, sa validité n'a pas encore été prouvée. Enfin le coût est un facteur limitant non négligeable, il faut compter environ 1 000 euros pour l'examen du dos, de l'encolure et du bassin.

La scintigraphie peut être indiquée par une autre technique d'imagerie réalisée auparavant (les modifications radiographiques scintigraphiquement actives sont à priori les plus significatives cliniquement), lors d'investigation générale d'une douleur dorsale ou d'une boiterie inexplicée et lorsqu'elle est la seule technique d'imagerie permettant d'obtenir des images de bonne qualité d'une zone spécifique.

La détection des lésions à l'examen scintigraphique dépend de l'épaisseur des tissus mous superposés à la colonne vertébrale et de la forme de la lésion. Elle permet une très bonne visualisation des processus épineux et la mise en évidence des anomalies suivantes :

- fracture du processus épineux
- conflit des processus épineux
- remodelage de l'insertion du ligament supra-épineux sur le sommet du processus épineux
- fracture du corps vertébral
- ostéo-arthrose des processus articulaires dorsaux
- spondylose ventrale
- discospondylose
- ostéomyélite du corps vertébral
- fractures du bassin et notamment de l'aile de l'ilium
- néoplasie du corps vertébral (très rare)
- rhabdomyolyse d'effort des muscles longissimus, grand dorsal et fessier moyen.

### **3.2.9 Examen thermographique**

(44), (85)

La thermographie informe principalement sur la vascularisation superficielle, sous dépendance du tonus vasomoteur sympathique.

Elle peut être utilisée afin de localiser la blessure. Elle est alors suivie d'une échographie pour évaluer la structure lésée ainsi que la taille et la forme de la lésion. Elle permet également de suivre l'évolution de la lésion et l'efficacité du traitement lorsqu'elle est réalisée avant, pendant et après sa mise en place.

De plus, elle peut être justifiée dans toutes les investigations de douleur dorsale et de problèmes locomoteurs dans la mesure où c'est un examen non invasif et rapide.

Les anomalies décelables grâce à cet examen sont les suivantes :

- conflit des processus épineux
- lésions du ligament supra-épineux
- lésions de la musculature axiale
- blessures au niveau du garrot
- problèmes des articulations sacro-iliaques
- problème d'adéquation entre le dos du cheval et la selle utilisée.

### **3.2.10 Analyses de laboratoire**

(48)

Des analyses hématologiques et biochimiques complètes peuvent être faites dans le but d'écarter des hypothèses de diagnostic différentiel, notamment lorsque le cheval est présenté pour une baisse de performance. Le sang doit être recueilli au début de l'examen clinique sur le cheval calme et au repos.

- Hématologie

Cet examen est indiqué lorsque l'on suspecte une ostéomyélite vertébrale ou une discospondylite. Il permet d'évaluer la présence d'une anémie, d'une hyper-fibrinogénémie, d'une leucocytose ou d'une neutrophilie.

- Biochimie

Deux enzymes musculaires marquant une inflammation ou une lésion peuvent être dosées. Il s'agit de la créatine kinase (CK), spécifique du muscle strié, squelettique et cardiaque et de l'aspartate aminotransférase (ASAT), qui est également une enzyme hépatique. La lactate déshydrogénase (LDH) n'est pas spécifique du muscle squelettique mais peut apporter des informations pour l'établissement du diagnostic. Elle est principalement présente au niveau musculaire, rénal, hépatique et pancréatique.

Ces trois enzymes musculaires sont intracellulaires. Leur passage dans le sang se fait à la faveur de la rupture d'une myofibrille ou par modification de la perméabilité membranaire lors de souffrance cellulaire. Elles ne sont généralement pas anormalement élevées chez les chevaux présentant des affections dorsales primaires. Cependant pour les chevaux suspects de myopathie chronique d'effort (le diagnostic clinique étant évident dans les cas aigus typiques), elles peuvent être dosées au repos puis après la réalisation d'un effort sub-maximal (quatre heures après pour les CK, vingt-quatre heures après pour l'ASAT et douze heures pour la LDH).

- Sérologie

Elle est indiquée lorsque l'on souhaite écarter des hypothèses du diagnostic différentiel.

## **DEUXIEME PARTIE :**

### **Etude de la musculature mobilisatrice du rachis du cheval selon son type d'activité**



## **DEUXIEME PARTIE : Etude de la musculature mobilisatrice du rachis du cheval selon son type d'activité**

(60), (63), (70), (81), (88)

La première partie a permis de montrer dans un premier temps la complexité anatomique et fonctionnelle de la colonne vertébrale du cheval, et dans un second temps la fréquence des dorsalgies et les difficultés d'investigation des problèmes de dos. De plus, l'étude des contraintes appliquées au rachis du cheval en fonction du mouvement qui lui est demandé suggère que les chevaux développent une musculature du tronc différente selon leur utilisation.

Des études récentes (63, 70, 60) ont porté sur la mise au point d'une technique d'évaluation des masses musculaires de la ligne du dessus et des muscles abdominaux par échographie. Ces travaux se sont plus particulièrement portés sur les muscles multifide, longissimus et droit de l'abdomen.

La première étude (63) a démontré l'existence d'une relation entre la taille du muscle multifide mesurée par échographie et le niveau d'activité des chevaux. Chez les chevaux dorsalgiques, une asymétrie du muscle multifide ou une atrophie de celui-ci a été mise en évidence. Une méthode de mesure de la taille du muscle longissimus lombaire au niveau de la cinquième vertèbre lombaire a également été établie.

Le travail préliminaire de la seconde étude citée ci-dessus (70) amène à penser que la taille du muscle multifide varie selon le niveau d'activité du cheval et selon le type de travail qu'il fournit. Elle n'a cependant pas été validée.

L'étude de Lindner et al (60) porte sur la mesure de l'épaisseur de nombreux muscles du cheval par échographie. Les mesures les plus fiables, avec le plus petit coefficient de variation, sont celles du muscle longissimus lombaire.

De plus, des études du muscle multifide lombaire par mesures échographiques ont été réalisées en médecine humaine (81, 88). Une différence significative de l'aire du muscle multifide en coupe transversale a pu être mise en évidence selon le sexe des patients (surtout liée à la différence de poids entre les hommes et les femmes), selon l'endroit où est faite l'image sur le segment lombaire et selon le niveau d'activité hebdomadaire des patients. Une relation entre l'aire mesurée du muscle à l'échographie et son niveau de contraction a été démontrée. Enfin, chez les patients souffrant d'une douleur chronique unilatérale en région lombaire, une diminution de l'aire du muscle multifide ipsilatéral en coupe transversale est observée, alors que chez les sujets sains les muscles multifides lombaires droit et gauche sont symétriques.

Ces données nous permettent de formuler l'hypothèse suivante : le développement des masses musculaires du rachis du cheval diffère en fonction de son activité. Notre travail portera donc sur l'étude par mesures échographiques des masses musculaires mobilisatrices de l'axe vertébral en fonction du type de travail fourni par le cheval.

# **1 OBJECTIFS**

L'objectif de notre étude est double:

- l'évaluation et la comparaison des masses musculaires mobilisatrices de la colonne vertébrale (muscles de la ligne du dessus et muscles abdominaux) au sein de trois groupes de chevaux, le premier étant composé de chevaux ne travaillant pas, le second regroupant des chevaux utilisés en dressage, en obstacle et en extérieur (chevaux dits « polyvalents ») tandis que le troisième groupe est constitué de chevaux pratiquant uniquement le dressage
- l'établissement d'une base de données regroupant les mesures de ces muscles en fonction de l'activité du cheval.

Les données obtenues au terme de cette étude pourraient ainsi servir de référence pour l'établissement du diagnostic des dorsalgies et pour le suivi de l'évolution du cheval après la mise en place d'un traitement adapté.

Les résultats attendus et les hypothèses que nous souhaitons vérifier grâce à notre étude sont les suivants :

- des masses musculaires des chaînes ventrale et dorsale plus importantes chez les chevaux au travail que chez les chevaux au repos
- une différence de masses musculaires au niveau des chaînes ventrale ou dorsale entre les chevaux « polyvalents » et les chevaux de dressage.

## **2 MATERIEL ET METHODES**

### **2.1 Mise au point de la méthode de mesure**

#### **2.1.1 Choix des muscles**

(60), (63), (70)

Comme nous l'avons vu dans la première partie de ce travail, les muscles mobilisateurs du rachis du cheval sont nombreux. Nous avons choisi d'étudier des muscles accessibles lors d'un examen échographique et pour lesquels une méthode d'évaluation a été validée dans des publications récentes.

L'étude de Mc Gowan C. et al (63) a permis d'établir en 2007 une méthode d'évaluation de l'aire du muscle multifide en coupe transversale par mesures échographiques en régions thoracique, lombaire et sacrée. L'aire du muscle longissimus a également été évaluée au niveau de la cinquième vertèbre lombaire.

L'étude de Pierron S. réalisée en 2008 (70) a mis au point une méthode d'évaluation fiable et répétable des masses musculaires impliquées dans la mobilisation de l'axe vertébral par échographie. Les muscles étudiés sont le muscle multifide thoracique et lombaire et le muscle droit de l'abdomen.

Enfin les mesures d'épaisseur du muscle longissimus lombaire obtenues par Lindner et al en 2010 (60) sont fiables, avec un très faible coefficient de variation.

Nous avons donc décidé de travailler sur les muscles multifide, longissimus et droit de l'abdomen.

Nous avons choisi d'utiliser le protocole établi par Pierron S. pour notre étude du muscle multifide thoracique et lombaire et du muscle droit de l'abdomen. La méthode décrite par Mc Gowan et al a été utilisée pour l'évaluation du muscle longissimus lombaire.

On étudie ainsi d'une part la ligne du dessus intervenant dans la stabilisation de la colonne vertébrale et dans la transmission des efforts de propulsion avec les muscles multifide et longissimus, et d'autre part la ligne du dessous permettant l'engagement des postérieurs et servant d'assise à la ligne du dessus au travers du muscle droit de l'abdomen.

#### **2.1.2 Réalisation des mesures**

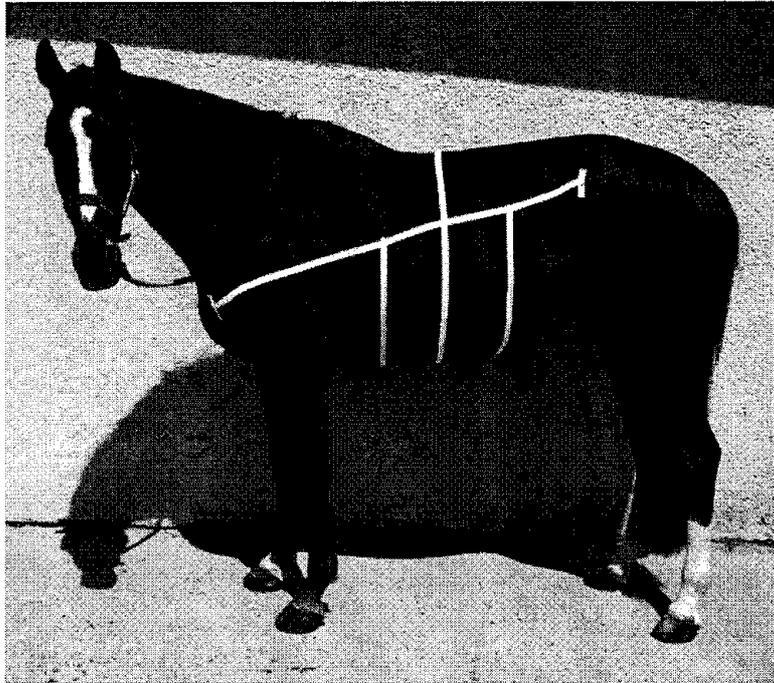
(70), (72)

Nous avons utilisé un échographe ALOKA prosound alpha 7 pour réaliser nos mesures des muscles mobilisateurs du rachis.

Pour obtenir un contact optimal et une bonne pénétration du signal sonore, du gel échographique est appliqué en grande quantité sur la peau du cheval, nettoyée préalablement. A l'examen échographique, le tissu musculaire a une apparence hétérogène et striée, avec une alternance de fibres musculaires hypoéchogènes entrecoupées de fascias, de tissu conjonctif et de graisse plus échogènes. Chaque muscle a un aspect distinct.

Le protocole de mesures mis au point par Pierron S. que nous avons utilisé, après avoir réalisé quelques modifications est présenté ci-dessous. Afin d'obtenir des mesures

répétables malgré les différences de morphologie des chevaux, les repères ont été matérialisés par des lignes tracées sur les chevaux. Nous avons tracé une première ligne allant de la pointe de l'épaule à la pointe de la hanche. Celle-ci est divisée en six segments de même longueur, obtenant ainsi sept points notés de 1 à 7, le point 1 correspondant à la pointe de l'épaule et le point 7 à la pointe de la hanche. Des lignes verticales passant par les points 4, 5 et 6 sont tracées (figure 68).



**Figure 68: Repérage des sites de mesures**

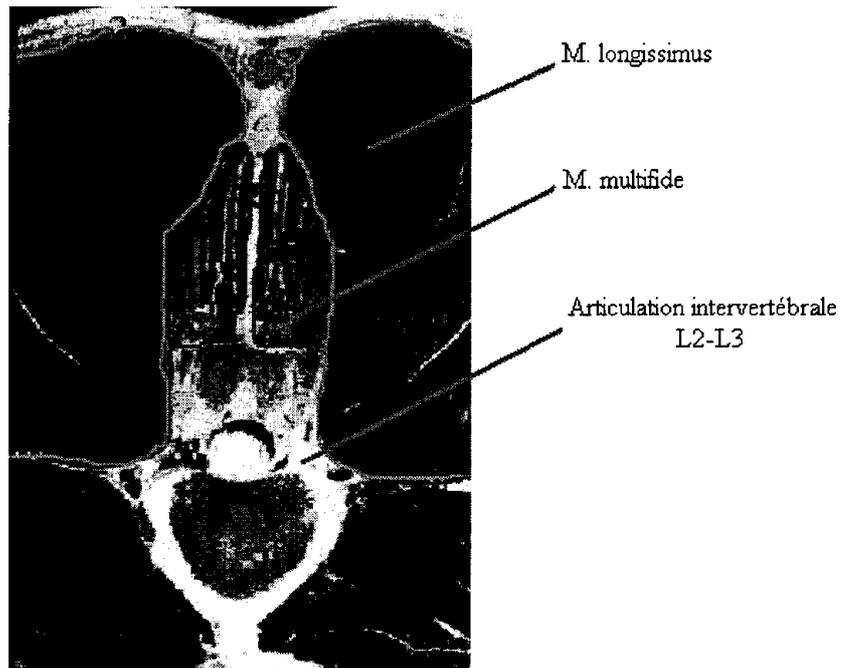
### **2.1.2.1 Mesures des muscles multifide et longissimus**

Les mesures de l'aire du muscle multifide sont réalisées à l'intersection de la ligne verticale passant par le point 5 et de la ligne du dos, au niveau de la dernière vertèbre lombaire (repérée au préalable par échographie) et au milieu de ces deux repères. Elles sont respectivement nommées M1, M3 et M2.

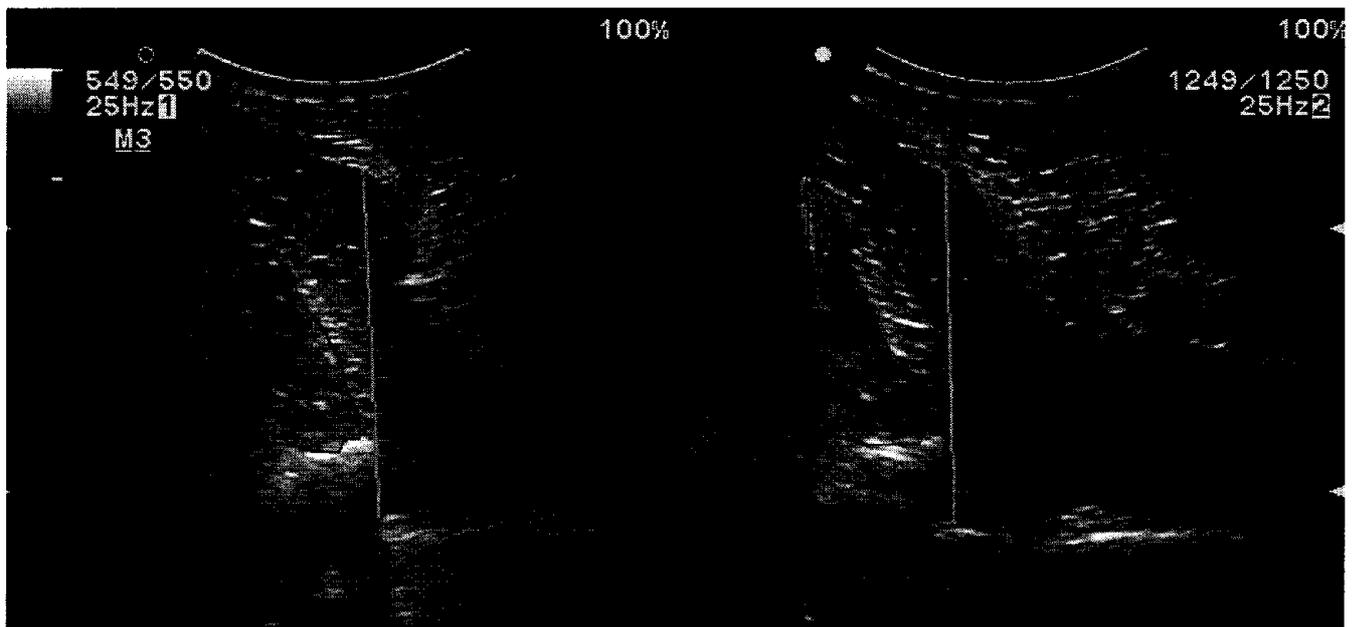
Le muscle longissimus est étudié au niveau de la dernière vertèbre lombaire. Sa grande taille ne permettant pas de visualiser toute la surface de sa section transversale sur une seule coupe par échographie, nous avons décidé de mesurer sa hauteur. Cette mesure est nommée L. Les mesures de ces muscles sont faites sur une coupe transversale avec une sonde convexe 2-5 Mhz.

Pour une meilleure répétabilité, pour chaque point M1, M2, M3 et L, les mesures ont été réalisées au niveau de l'articulation intervertébrale correspondante.

Les muscles multifide et longissimus sont facilement mis en évidence sur l'image échographique (figure 70) après les avoir repérés sur une coupe transversale anatomique réalisée au niveau lombaire passant par l'articulation intervertébrale (figure 69).



**Figure 69: Coupe anatomique transversale au niveau de l'articulation intervertébrale L2-L3 (modifié d'après 29)**

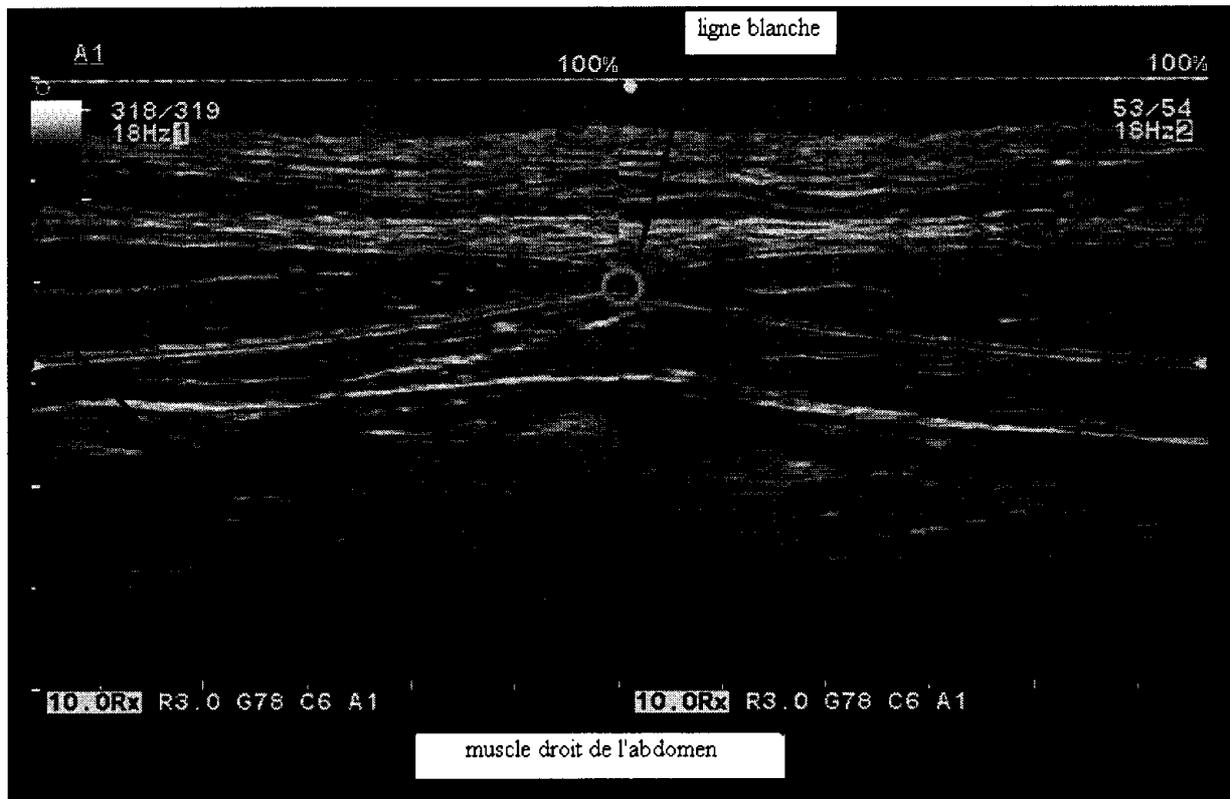


**Figure 70: Images échographiques du muscle multifide (contours en rouge) et longissimus (hauteur tracée en vert) au niveau de la dernière vertèbre lombaire à gauche et à droite**

### **2.1.2.2 Mesures du muscle droit de l'abdomen**

Les mesures de l'épaisseur du muscle droit de l'abdomen sont réalisées aux intersections des lignes verticales passant par les points 4, 5 et 6 et de la ligne blanche. Elles

sont nommées respectivement A1, A2 et A3. Elles sont réalisées sur une image en coupe transversale avec une sonde linéaire 5-13 MHz en se décalant d'une largeur de sonde (soit 45 mm) du milieu de la ligne blanche (figure 71).



**Figure 71: Images échographiques du muscle droit de l'abdomen au point A1 à gauche et à droite**

Compte tenu de l'importante variabilité inter-opérateur et de la légère variabilité intra-opérateur mises en évidence par le travail de Pierron S. (70), nous avons décidé de travailler avec deux opérateurs et de réaliser pour chaque point trois fois les mesures par opérateur, du côté droit et du côté gauche du cheval. Nous avons tenu à analyser les muscles de chaque côté afin de mettre en évidence d'éventuelles asymétries pouvant traduire des dorsalgies (63).

## **2.2 Etablissement des trois groupes de chevaux**

Nous avons choisi pour notre étude des chevaux utilisés pour différents types de travail. Trois groupes ont été constitués : un groupe de chevaux au repos, un groupe de chevaux polyvalents et un groupe de chevaux de dressage. Ces chevaux n'ont aucun antécédent connu de dorsalgie.

### **2.2.1 Groupe 1 : chevaux au repos**

Ce groupe est constitué de huit chevaux, appartenant à l'effectif pédagogique de VetAgro Sup campus vétérinaire de Lyon.

Ces chevaux vivent en groupe au pré. Ils ne sont jamais montés ni travaillés.

Ils ont entre 4 et 16 ans, avec une moyenne d'âge de 10 ans. Ils toisent entre 147 et 171 cm,

avec une taille moyenne de 160 cm. Ils pèsent entre 430 et 598 kg, avec un poids moyen de 540 kg. Ils appartiennent à différentes races : Trotteur français (75% du groupe), Selle français (12,5%) et Poney (12,5%). Le groupe 1 est composé de trois juments et de cinq hongres.

### **2.2.2 Groupe 2 : chevaux « polyvalents »**

Ce groupe est constitué de huit chevaux, appartenant à des cavaliers amateurs. Ces chevaux vivent en box, avec pour la plupart d'entre eux (sept chevaux sur les huit) une sortie quotidienne de plusieurs heures en paddock individuel. Ils sont travaillés en moyenne une heure par jour, en alternant le travail en dressage, à l'obstacle ou en extérieur (figure 72). Ils participent à des compétitions de niveau amateur, cependant la fréquence ainsi que le niveau des compétitions diffèrent au sein du groupe. Les chevaux du deuxième groupe ont entre 4 et 11 ans, avec une moyenne d'âge de 8 ans. Ils toisent entre 155 et 174 cm, avec une taille moyenne de 167 cm. Ils pèsent entre 458 et 622 kg, avec un poids moyen de 562 kg. Ils appartiennent à différentes races : Selle français (62,5% de l'effectif), Pur Sang Arabe (12,5%), Anglo-arabe (12,5%) et Trotteur français (12,5%). Ce groupe est composé d'autant de juments que de hongres.



**Figure 72: Cheval du groupe 2 en concours de saut d'obstacle (PRACH A.)**

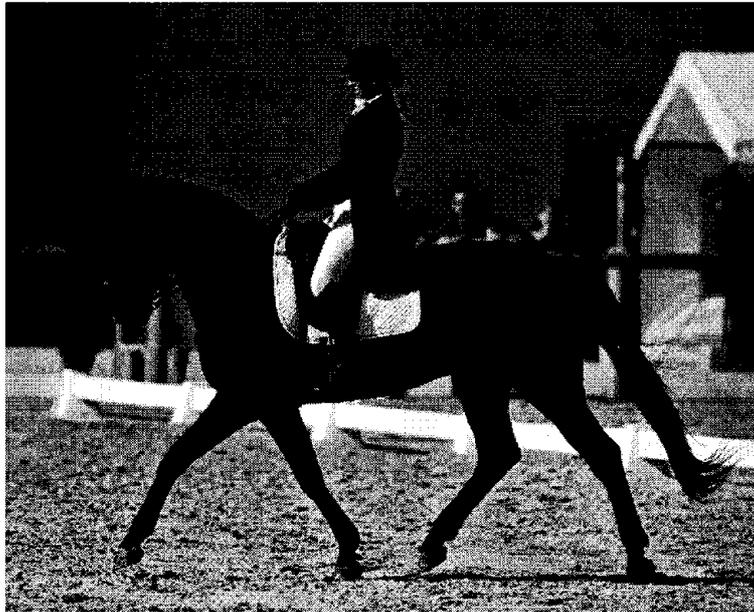
### **2.2.3 Groupe 3 : chevaux de dressage**

Ce groupe est constitué de six chevaux, appartenant à des cavaliers de dressage amateurs.

Ces chevaux vivent strictement en box. Ils sont travaillés quotidiennement pendant environ une heure, uniquement en dressage (figure 73). Ils participent à des compétitions de niveau amateur, mais comme au sein du groupe précédent, on observe une importante hétérogénéité du niveau des compétitions.

Les chevaux de dressage utilisés dans cette étude ont entre 4 et 17 ans, avec une moyenne d'âge de 9 ans. Ils toisent entre 160 et 168 cm, avec une taille moyenne de 165 cm. Ils pèsent entre 483 et 595 kg, avec un poids moyen de 546 kg. Ils appartiennent à différentes races : Hanovrien (16,7% des chevaux du groupe), Selle français (50%), Cheval de selle (16,7%) et

KWPN (Kon Warm Paard Nederland) (16,7%). Ce groupe est composé d'autant de juments que de hongres.

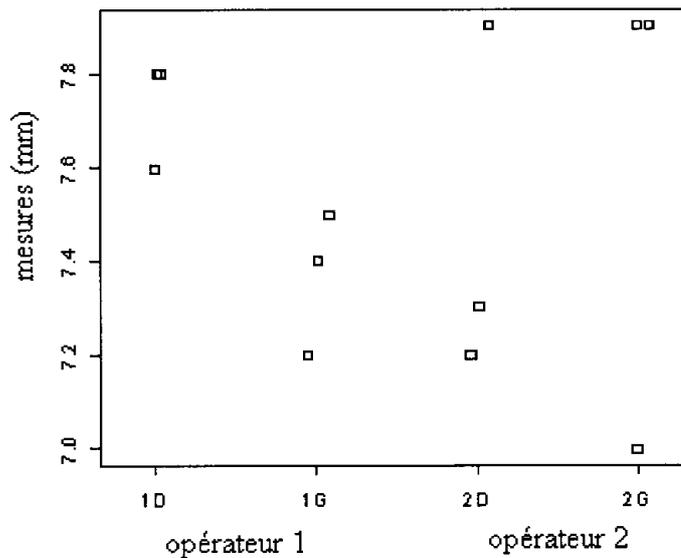


**Figure 73: Cheval du groupe 3 en concours de dressage (CONSTANTIN S.)**

### **2.3 Analyse statistique**

Les mesures obtenues des muscles multifide, longissimus et droit de l'abdomen sur les chevaux des trois groupes sont présentées en annexe (annexes 1, 2 et 3). Elles ont tout d'abord été analysées graphiquement de façon individuelle pour chaque cheval et pour chaque point A1, A2, A3, M1, M2, M3 et L, afin de mettre en évidence d'éventuelles différences importantes inter-opérateurs ou entre le côté droit et le côté gauche du cheval (pouvant traduire l'existence d'une dorsalgie). La figure 74 représente un exemple pour le site de mesures A3 du cheval Phébus. Le but de cette analyse graphique est d'écarter de notre étude les chevaux dont les mesures ne sont pas interprétables. Après cette vérification, nous avons pu utiliser dans la suite de notre travail tous les chevaux ayant servi pour la prise des mesures.

### Muscle droit de l'abdomen en A3



**Figure 74: Représentation graphique des mesures faites en A3 du cheval Phébus (Groupe 2) (avec 1D = opérateur 1 à droite, 1G = opérateur 1 à gauche, 2D = opérateur 2 à droite et 2G = opérateur 2 à gauche)**

Les valeurs moyennes, minimales et maximales ont ensuite été calculées pour chaque point et chaque cheval (annexes 4, 5 et 6).

Enfin, au sein de chaque groupe, les valeurs moyennes, minimales et maximales de chaque site ont été calculées.

Pour chaque site de mesure, la distribution des valeurs est observée sous forme de diagrammes en boîte. Les distributions ont pu être supposées normales. Les variances des trois séries (groupes 1, 2 et 3) ont été comparées par un test de Bartlett. Enfin en fonction du résultat de ce test, nous avons comparé les moyennes des trois groupes avec une Anova 1 si les variances peuvent être supposées égales et test de Welch dans le cas contraire (logiciel R 2.2.1).

La différence entre les moyennes des groupes a été jugée significative si  $p < 0,05$  (avec plus précisément une différence dite tout juste significative si  $0,01 \leq p < 0,05$  ; une différence dite très significative si  $0,001 \leq p < 0,01$  et une différence dite hautement significative si  $p < 0,001$ ).

Dans les cas où une différence significative a pu être mise en évidence lors de la comparaison globale des trois groupes de chevaux, nous avons réalisé des comparaisons multiples des moyennes, afin de voir quelles moyennes diffèrent effectivement entre elles. La réalisation de ces comparaisons des moyennes deux à deux peut être raisonnablement envisagée dans le cas de notre étude puisque nous comparons un nombre faible de moyennes. Nous réaliserons donc pour chaque point seulement trois comparaisons de moyennes deux à deux.

Enfin, suite aux observations faites lors de la réalisation des mesures du muscle multifide et du muscle longissimus, nous avons tenté de mettre en évidence une corrélation linéaire entre ces mesures et la hauteur des processus vertébraux épineux aux mêmes points. Pour cela, nous avons mesuré la hauteur des processus épineux, calculé les moyennes pour chaque cheval (annexes 7, 8 et 9) et réalisé des tests non paramétriques de corrélation basés

sur le coefficient de Spearman (logiciel R 2.2.1).

Suite aux résultats obtenus, nous avons calculé la valeur moyenne des rapports M1/PE1, M2/PE2 et L/PE3 pour chaque cheval (annexes 10, 11 et 12) et pour chaque groupe. Enfin nous avons comparé les moyennes obtenues pour les trois groupes comme précédemment à l'aide des tests statistiques Anova 1 et test de Welch (logiciel R 2.2.1).

### 3 RESULTATS

#### 3.1 Muscle droit de l'abdomen

##### 3.1.1 Analyse graphique

Les valeurs moyennes de l'épaisseur du muscle droit de l'abdomen des chevaux des trois groupes ont été individuellement reportées sur un graphe différent pour chaque site de mesure. La figure 75 représente les mesures obtenues au point A1, la figure 76 en A2 et la figure 77 en A3. Pour ces trois sites de mesure, les groupes de chevaux étudiés sont assez hétérogènes. L'intervalle entre la valeur minimale et la valeur maximale du groupe 1 recouvre partiellement celui du groupe 2, il en de même entre le groupe 2 et le groupe 3. Il semble tout de même que pour les trois points A1, A2 et A3, les valeurs obtenues pour le groupe 3 soient supérieures à celles du groupe 2, celles-ci étant supérieures à celles du groupe 1.

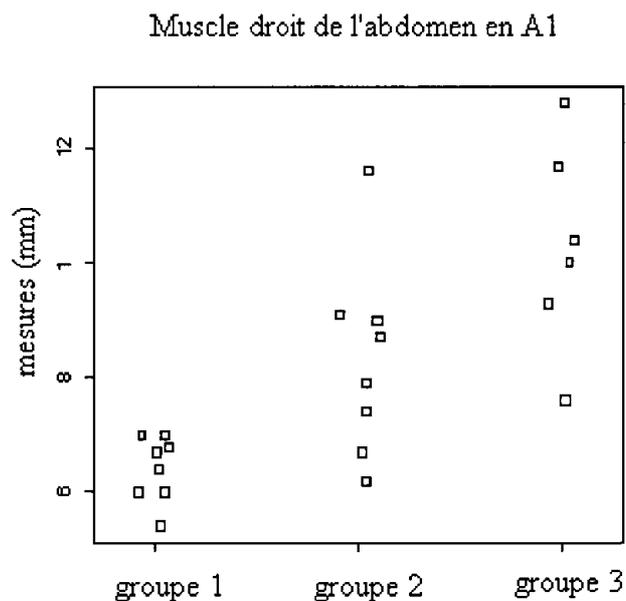
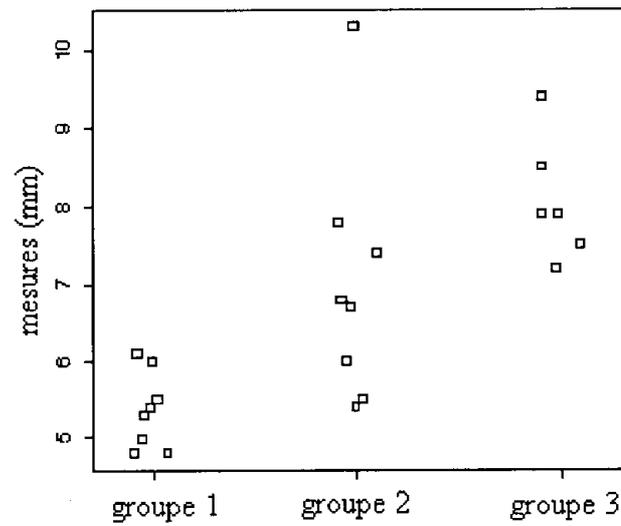


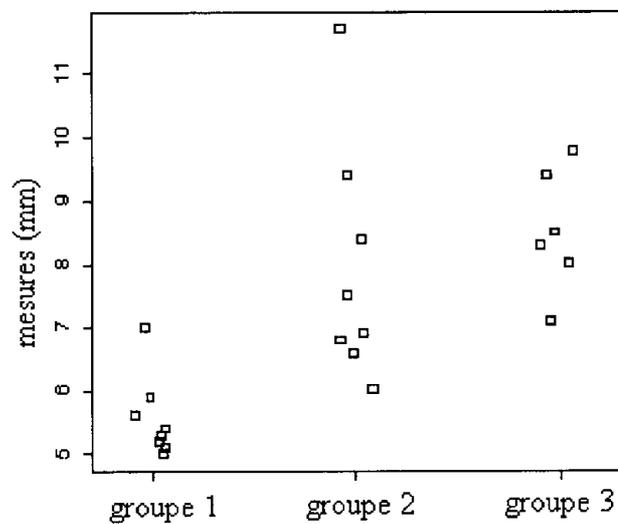
Figure 75: Représentation graphique des valeurs moyennes de A1 des 3 groupes

Muscle droit de l'abdomen en A2



**Figure 76: Représentation graphique des valeurs moyennes de A2 des 3 groupes**

Muscle droit de l'abdomen en A3



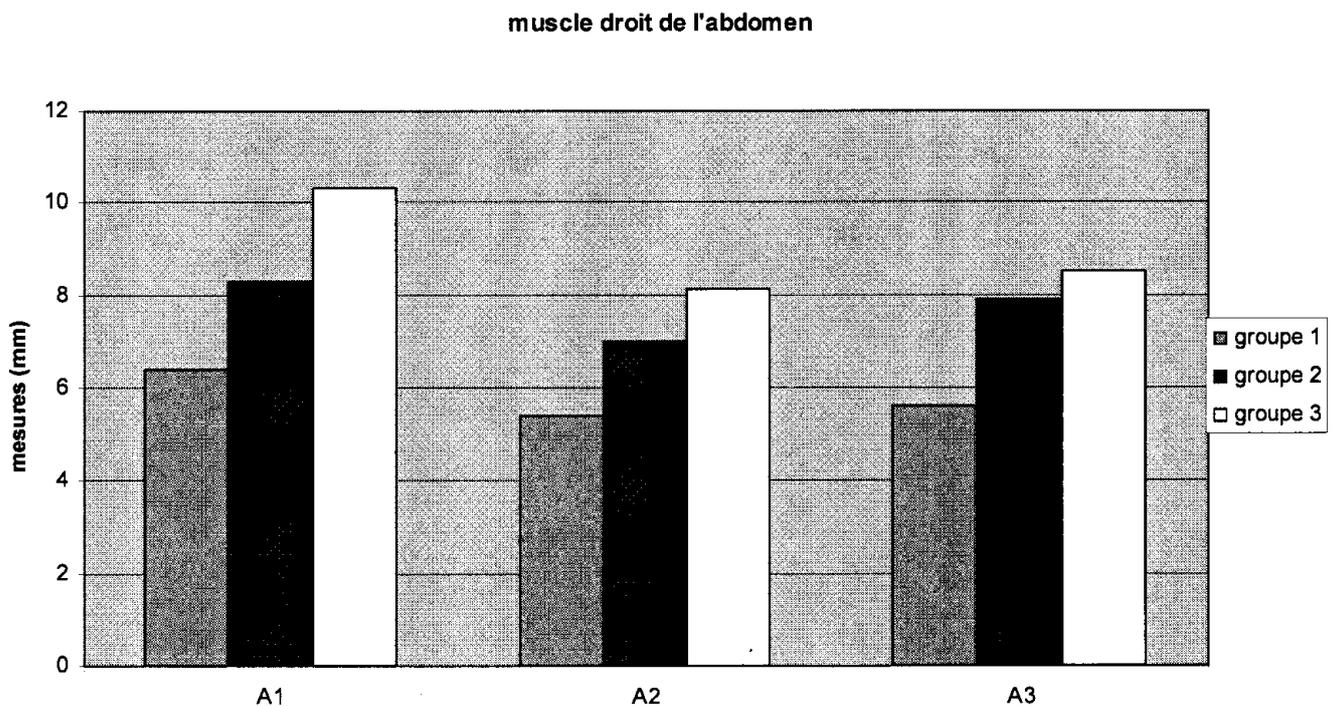
**Figure 77: Représentation graphique des valeurs moyennes de A3 des 3 groupes**

Les valeurs moyennes, minimales et maximales de chaque groupe de chevaux ont été calculées pour les trois sites de mesures du muscle droit de l'abdomen (tableau V).

**Tableau V: Valeurs moyennes, minimales et maximales des 3 groupes pour A1, A2 et A3**

	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3
A1 (mm)	6,4 [5,4 – 7,0]	8,3 [6,2 – 11,6]	10,3 [7,6 – 12,8]
A2 (mm)	5,4 [4,8 – 6,1]	7,0 [5,4 – 10,3]	8,1 [7,2 – 9,4]
A3 (mm)	5,6 [5,0 – 7,0]	7,9 [6,0 – 11,7]	8,5 [7,1 – 9,8]

Les moyennes obtenues pour chaque groupe pour les trois sites de mesure du muscle droit de l'abdomen ont été mises en parallèle à l'aide d'un diagramme en bâtons (figure 78). On constate que pour les points A1, A2 et A3, l'épaisseur du muscle droit de l'abdomen est plus importante pour le groupe 3 que pour le groupe 2, celle du groupe 2 étant elle-même supérieure à celle du groupe 1.



**Figure 78: Diagramme en bâtons présentant les moyennes des 3 groupes**

### 3.1.2 Tests de comparaison des moyennes

Les résultats des tests statistiques de comparaison des moyennes de l'épaisseur du muscle droit de l'abdomen aux points A1, A2 et A3 sont présentés dans le tableau ci-dessous (tableau VI).

**Tableau VI: Résultats des tests de comparaison des moyennes des 3 groupes aux points A1, A2 et A3**

	A1	A2	A3
Ordre de grandeur de p	$0,001 \leq p < 0,01$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
Conclusion	Différence très significative	Différence hautement significative	Différence hautement significative

Ils permettent de confirmer l'existence d'une différence très significative entre les trois groupes de chevaux étudiés concernant l'épaisseur du muscle droit de l'abdomen aux sites A1, A2 et A3.

Ces résultats nous conduisent à réaliser des comparaisons multiples deux à deux des moyennes aux points A1, A2 et A3 pour identifier les moyennes qui diffèrent effectivement entre elles.

### 3.1.3 Comparaisons multiples des moyennes

Cette démarche est envisageable dans notre analyse puisque nous comparons un faible nombre de moyennes (trois). Les résultats de chacun des tests sont présentés dans les tableaux VII, VIII et IX.

**Tableau VII: Résultats des tests de comparaison 2 à 2 des moyennes des 3 groupes au point A1**

	Groupes 1 et 2	Groupes 1 et 3	Groupes 2 et 3
Ordre de grandeur de p	$0,01 \leq p < 0,05$	$0,001 \leq p < 0,01$	$p \geq 0,05$
Conclusion	Différence tout juste significative	Différence très significative	Pas de preuve de l'existence d'une différence significative

**Tableau VIII: Résultats des tests de comparaison 2 à 2 des moyennes des 3 groupes au point A2**

	Groupes 1 et 2	Groupes 1 et 3	Groupes 2 et 3
Ordre de grandeur de p	$0,01 \leq p < 0,05$	$p < 0,001$	$p \geq 0,05$
Conclusion	Différence tout juste significative	Différence hautement significative	Pas de preuve de l'existence d'une différence significative

**Tableau IX: Résultats des tests de comparaison 2 à 2 des moyennes des 3 groupes au point A 3**

	Groupes 1 et 2	Groupes 1 et 3	Groupes 2 et 3
Ordre de grandeur de p	$0,001 \leq p < 0,01$	$p < 0,001$	$p \geq 0,05$
Conclusion	Différence très significative	Différence hautement significative	Pas de preuve de l'existence d'une différence significative

### 3.1.4 Conclusion

Les résultats concernant l'épaisseur du muscle droit de l'abdomen sont similaires aux trois points sur lesquels nous avons travaillé. Il existe une différence significative entre les chevaux ne travaillant pas et les chevaux que nous avons qualifiés précédemment de « polyvalents », et une différence hautement significative entre les chevaux ne travaillant pas et ceux ayant une activité de dressage.

Le muscle droit de l'abdomen est donc significativement plus épais chez les chevaux polyvalents et chez les chevaux de dressage que chez les chevaux au repos.

Toutefois, cette étude ne permet pas de conclure quant à l'existence d'une différence significative de l'épaisseur du muscle droit de l'abdomen entre les chevaux « polyvalents » et les chevaux de dressage.

### 3.1.5 Etablissement d'une base de données des mesures du muscle droit de l'abdomen

Pour l'établissement de cette base de données, nous avons reconstitué les conditions pratiques de la majorité des cliniques, à savoir un seul opérateur et une unique série de mesures. Nous avons donc utilisé seulement les premières valeurs de chaque série de mesures réalisées par l'opérateur 1 pour chaque cheval. Les mesures du côté gauche ayant été réalisées en premier pour tous les chevaux, nous avons seulement tenu compte de la première valeur obtenue de ce côté. Nous avons ensuite calculé les valeurs moyennes de A1, A2 et A3 pour chaque groupe et utilisé les valeurs minimales et maximales.

Nous avons ainsi pu établir une base de données des mesures de l'épaisseur du muscle droit de l'abdomen en fonction de l'activité du cheval, fournissant pour chaque classe une valeur moyenne et un intervalle de référence (déterminé par les valeurs minimales et maximales de chaque classe) (tableau X).

**Tableau X : Base de données des mesures de l'épaisseur du muscle droit de l'abdomen**

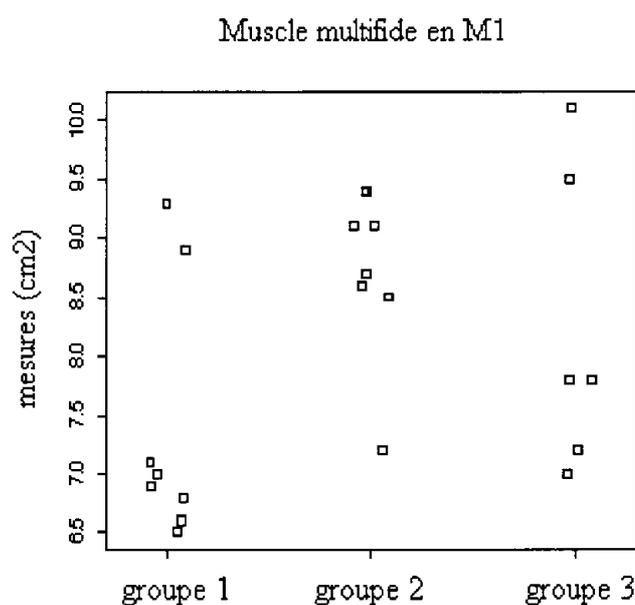
	Chevaux au repos	Chevaux polyvalents	Chevaux de dressage
A1 (mm)	6,5 [5,5 – 7,8]	8,9 [5,9 – 13,0]	10,4 [7,4 – 13,3]
A2 (mm)	5,8 [4,6 - 7,0]	7,2 [5,1 – 8,8]	8,6 [7,4 – 10,6]
A3 (mm)	5,7 [4,6 – 6,6]	8,2 [6,4 – 12,1]	8,6 [8,0 – 10,3]

Cette base de données n'établit en aucun cas une série de normes des valeurs de l'épaisseur du muscle droit de l'abdomen. Elle a seulement pour vocation de pouvoir comparer la musculature abdominale d'un cheval par rapport à d'autres chevaux ayant la même activité, et ainsi orienter le diagnostic en cas de suspicion de mauvais fonctionnement du dos du cheval ou de dorsalgie.

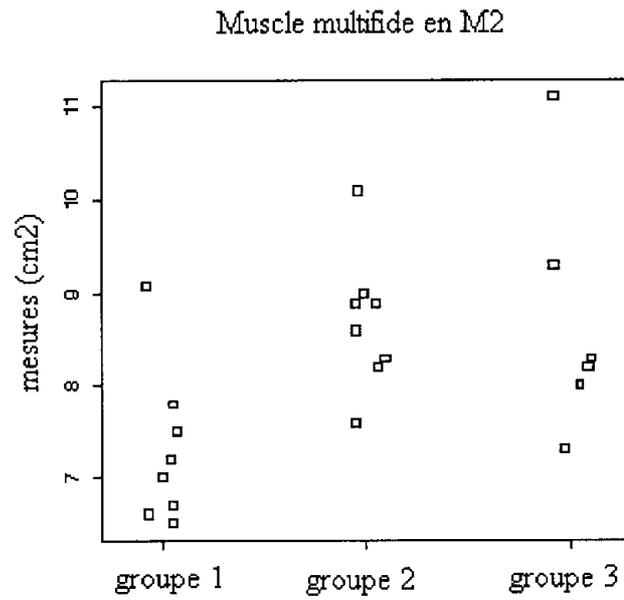
## 3.2 Muscle multifide

### 3.2.1 Analyse graphique

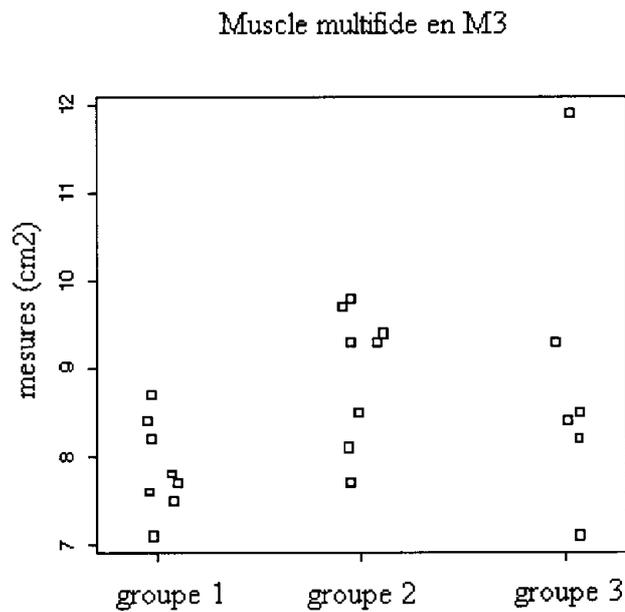
Comme pour le muscle droit de l'abdomen, les valeurs moyennes de l'aire du muscle multifide des chevaux des trois groupes ont été individuellement reportées sur un graphe différent pour chaque site de mesure. Les figures 79, 80 et 81 représentent respectivement les mesures obtenues aux points M1, M2 et M3. Pour ces trois points, les groupes de chevaux étudiés sont très hétérogènes. Les graphes ne permettent pas de mettre en évidence de différence claire entre les trois groupes concernant l'aire du muscle multifide.



**Figure 79: Représentation graphique des valeurs moyennes de M1 des 3 groupes**



**Figure 80: Représentation graphique des valeurs moyennes de M2 des 3 groupes**



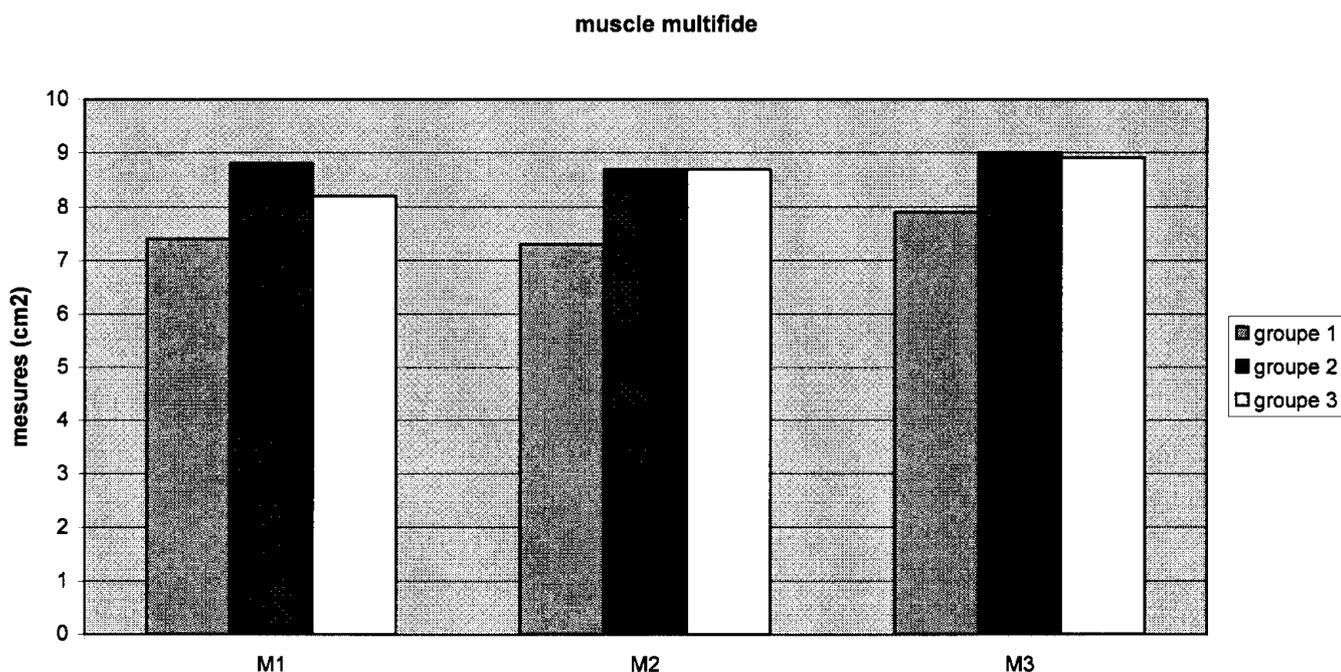
**Figure 81: Représentation graphique des valeurs moyennes de M3 des 3 groupes**

Les valeurs moyennes, minimales et maximales de chaque groupe ont été calculées pour les trois sites de mesures du muscle multifide (tableau XI).

**Tableau XI: Valeurs moyennes, minimales et maximales des 3 groupes pour M1, M2 et M3**

	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3
M1 (cm <sup>2</sup> )	7,4 [6,5 – 9,3]	8,8 [7,2 – 9,4]	8,2 [7,0 – 10,1]
M2 (cm <sup>2</sup> )	7,3 [6,5 – 9,1]	8,7 [7,6 – 10,1]	8,7 [7,3 – 11,1]
M3 (cm <sup>2</sup> )	7,9 [7,1 – 8,7]	9,0 [7,7 – 9,8]	8,9 [7,1 – 11,9]

Nous avons ensuite comparé graphiquement les moyennes obtenues pour chaque groupe pour les trois sites de mesure du muscle multifide en réalisant un diagramme en bâtons (figure 82). L'aire moyenne du muscle multifide aux points M1, M2 et M3 sur les chevaux du groupe 1 est inférieure à celles des groupes 2 et 3. Cependant ce diagramme ne met pas en évidence de différence entre les moyennes des groupes 2 et 3.



**Figure 82: Diagramme en bâtons présentant les moyennes des 3 groupes**

### 3.2.2 Tests de comparaison des moyennes

Les résultats des tests statistiques de comparaison des moyennes de l'aire du muscle multifide aux points M1, M2 et M3 sont présentés dans le tableau ci-dessous (tableau XII).

**Tableau XII: Résultats des tests de comparaison des moyennes des 3 groupes aux points M1, M2 et M3**

	M1	M2	M3
Ordre de grandeur de p	$0,01 \leq p < 0,05$	$0,01 \leq p < 0,05$	$0,01 \leq p < 0,05$
Conclusion	Différence tout juste significative	Différence tout juste significative	Différence tout juste significative

Il existe donc une différence significative entre les moyennes des trois groupes concernant l'aire du muscle multifide aux trois points sur lesquels nous avons travaillé. Comme nous l'avons fait pour le muscle droit de l'abdomen, nous avons réalisé des comparaisons multiples des moyennes deux à deux, afin d'identifier les moyennes différant réellement.

### 3.2.3 Comparaisons multiples des moyennes

Les résultats de chacun des tests sont présentés dans les tableaux XIII, XIV et XV.

**Tableau XIII: Résultats des tests de comparaison 2 à 2 des moyennes des 3 groupes au point M1**

	Groupes 1 et 2	Groupes 1 et 3	Groupes 2 et 3
Ordre de grandeur de p	$0,01 \leq p < 0,05$	$p \geq 0,05$	$p \geq 0,05$
Conclusion	Différence tout juste significative	Pas de preuve de l'existence d'une différence significative	Pas de preuve de l'existence d'une différence significative

**Tableau XIV: Résultats des tests de comparaison 2 à 2 des moyennes des 3 groupes au point M2**

	Groupes 1 et 2	Groupes 1 et 3	Groupes 2 et 3
Ordre de grandeur de p	$0,001 \leq p < 0,01$	$0,01 \leq p < 0,05$	$p \geq 0,05$
Conclusion	Différence très significative	Différence tout juste significative	Moyennes égales, pas de différence

**Tableau XV: Résultats des tests de comparaison 2 à 2 des moyennes des 3 groupes au point M3**

	Groupes 1 et 2	Groupes 1 et 3	Groupes 2 et 3
Ordre de grandeur de p	$0,001 \leq p < 0,01$	$p \geq 0,05$	$p \geq 0,05$
Conclusion	Différence très significative	Pas de preuve de l'existence d'une différence significative	Pas de preuve de l'existence d'une différence significative

Les résultats obtenus aux points M1, M2 et M3 sont environ similaires. On note l'existence d'une différence significative de l'aire du muscle multifide entre les chevaux ne travaillant pas et les chevaux polyvalents, la superficie étant supérieure chez les chevaux polyvalents. Cependant, aucune différence n'est mise en évidence entre les chevaux au repos et les chevaux de dressage, ainsi qu'entre les chevaux polyvalents et les chevaux de dressage.

Ces conclusions ne sont pas celles attendues initialement, notamment à propos de l'absence de preuve de l'existence d'une différence significative entre le groupe de chevaux n'effectuant aucun travail et les chevaux de dressage. En effet, on imagine a priori que les chevaux de dressage suite à leur entraînement, sollicitant continuellement le dos, ont un muscle multifide hypertrophié, possédant une aire en coupe transversale à l'échographie plus importante que les chevaux au repos.

Toutefois, nous avons observé lors de la réalisation des mesures échographiques que certains chevaux avaient en coupe transversale un muscle multifide long mais étroit tandis que sur d'autres chevaux il était beaucoup plus court mais très large. De plus, comme nous l'avons précisé dans les rappels anatomiques de la première partie, le muscle multifide thoraco-lombaire est un muscle juxta-vertébral joignant les processus vertébraux transverses aux processus épineux (figure 25). Son aire en coupe transversale devrait dépendre de la taille du processus épineux. Nous avons alors recherché l'existence d'une corrélation linéaire entre l'aire du muscle multifide et la hauteur du processus épineux.

Les travaux réalisés en médecine humaine par Stokes et al en 2004 (81) sur l'aire du muscle multifide mesurée par échographie ont montré l'existence d'une telle corrélation linéaire significative entre l'aire du muscle multifide et la hauteur du processus épineux au site de mesure.

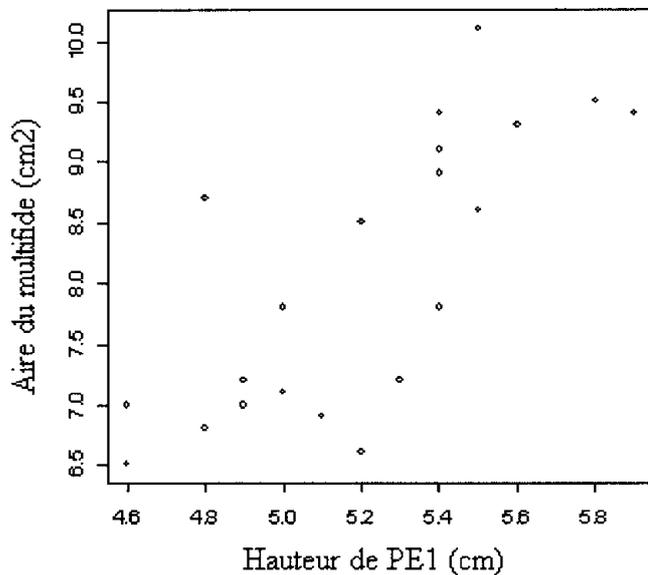
### **3.2.4 Normalisation de l'aire du muscle multifide par la hauteur du processus épineux**

Nous avons décidé de mesurer la hauteur des processus épineux des vertèbres de chaque cheval aux points M1, M2 et M3 sur les mêmes images échographiques que nous avons utilisées pour les mesures de l'aire du muscle multifide. Ces hauteurs ont été notées respectivement PE1 au point M1, PE2 au point M2 et PE3 au point M3 (annexes 7, 8 et 9). Les moyennes ont été calculées pour chaque cheval. Nous avons ensuite recherché une éventuelle corrélation linéaire entre l'aire du muscle multifide et la hauteur du processus épineux.

Nous avons représenté graphiquement l'aire du muscle multifide en fonction de la hauteur du processus épineux aux trois points étudiés en regroupant tous les chevaux des

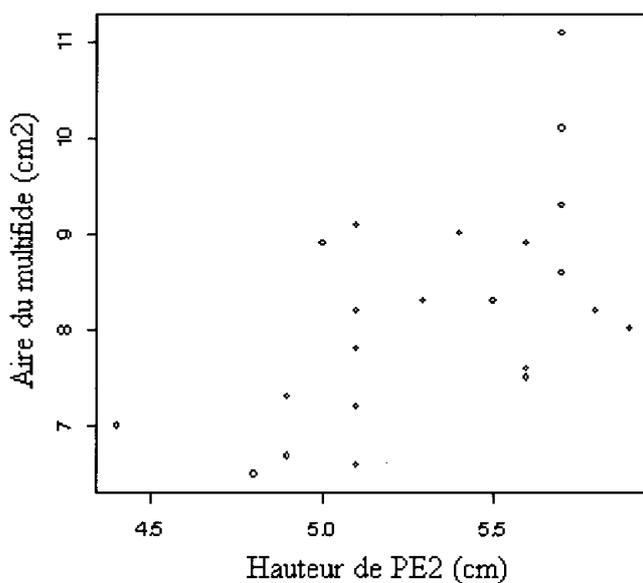
trois groupes (figures 83, 84 et 85). Du fait du faible nombre de points, il est difficile de dire si les nuages de points obtenus sont elliptiques. Toutefois, cela semble ne pas être le cas au point M3. Nous ne réaliserons donc pas de test de corrélation linéaire au point M3.

Aire du multifide en fonction de la hauteur du processus épineux en M1



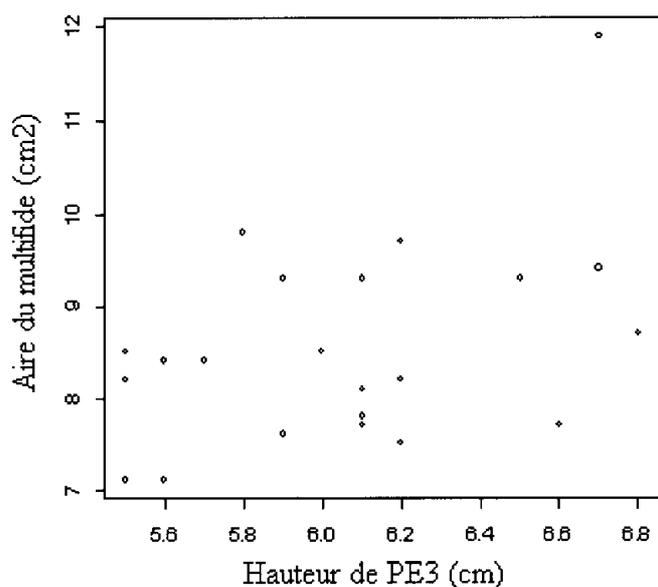
**Figure 83 : Représentation graphique de l'aire du muscle multifide en fonction de la hauteur du processus épineux au point M1**

Aire du multifide en fonction de la hauteur du processus épineux en M2



**Figure 84: Représentation graphique de l'aire du muscle multifide en fonction de la hauteur du processus épineux au point M2**

Aire du multifide en fonction de la hauteur du processus épineux en M3



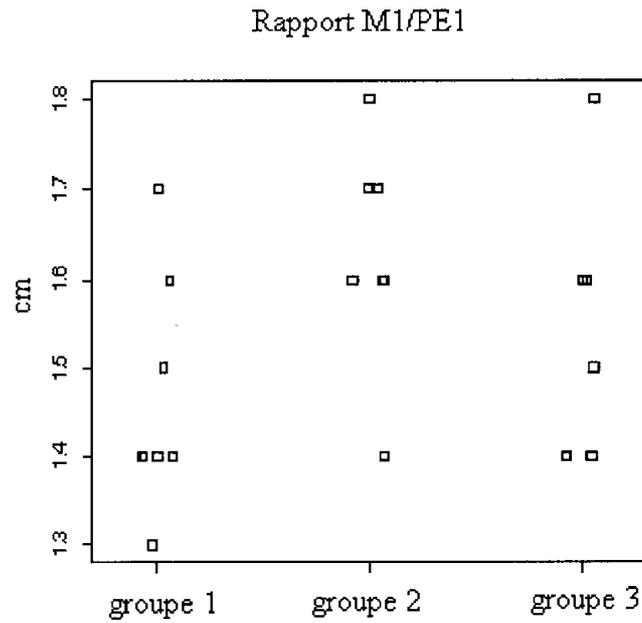
**Figure 85 : Représentation graphique de l'aire du muscle multifide en fonction de la hauteur du processus épineux au point M3**

Des tests non paramétriques de corrélation basés sur le coefficient de Spearman (noté ici  $r$ ) ont été réalisés. Les résultats obtenus aux trois points étudiés sont présentés dans le tableau ci-dessous (tableau XVI).

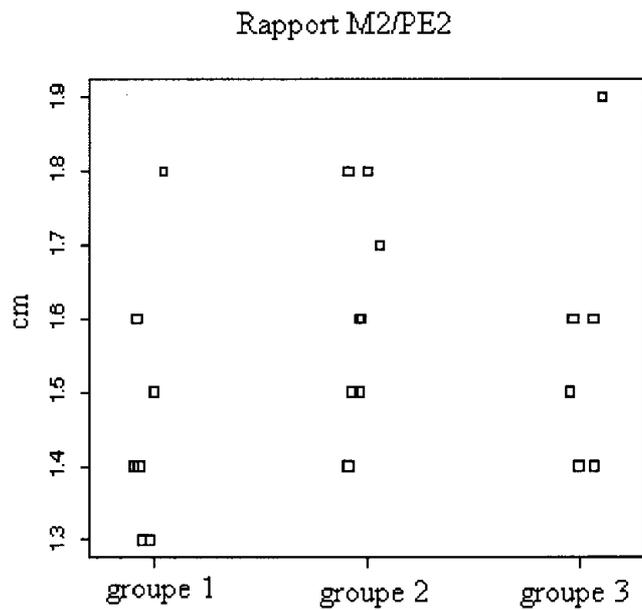
**Tableau XVI : Résultats des tests non paramétriques de corrélation linéaire aux points M1 et M2**

	Estimation de $r$	Ordre de grandeur de $p$
Corrélation linéaire M1 et PE1	0,80	$p < 0,001$
Corrélation linéaire M2 et PE2	0,57	$0,001 \leq p < 0,01$

Ces tests mettent en évidence une corrélation faible mais très significative entre l'aire du muscle multifide et la hauteur du processus épineux correspondant aux points M1 et M2. L'existence de cette corrélation linéaire aux points M1 et M2 nous conduit à réaliser une normalisation de l'aire du muscle multifide par la hauteur du processus épineux. Nous avons utilisé pour cela les rapports M1/PE1 et M2/PE2 à partir des valeurs moyennes de l'aire du muscle multifide et de la hauteur du processus épineux à chaque point pour chaque cheval (annexes 10, 11 et 12). Les valeurs obtenues pour chaque groupe ont été reportées individuellement sur un graphe (figures 86 pour le point M1 et 87 pour le point M2). L'observation de ces deux graphes ne permet pas de mettre en évidence une différence entre nos trois groupes de chevaux.



**Figure 86 : Représentation graphique des valeurs moyennes de M1/PE1 des 3 groupes**



**Figure 87 : Représentation graphique des valeurs moyennes de M2/PE2 des 3 groupes**

Les valeurs moyennes des rapports de l'aire du multifide sur la hauteur du processus épineux de chaque groupe ont ensuite été calculées et sont présentées dans le tableau XVII.

**Tableau XVII : Valeurs moyennes du rapport de l'aire du muscle multifide sur la hauteur du processus épineux**

	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3
M1/PE1 (cm)	1,5	1,6	1,6
M2/PE2 (cm)	1,5	1,6	1,6

Les moyennes des trois groupes ne sont pas significativement différentes, elles sont même identiques pour les groupes 2 et 3. On obtient les mêmes moyennes pour chaque groupe aux points M1 et M2.

### **3.2.5 Conclusion**

Notre étude a permis de mettre en évidence une différence significative de l'aire du muscle multifide entre les chevaux ne travaillant pas et les chevaux « polyvalents », l'aire étant supérieure chez ces derniers. Aucune différence n'a pu être constatée entre les chevaux au repos et les chevaux de dressage, ainsi qu'entre les chevaux « polyvalents » et les chevaux de dressage.

Après normalisation de l'aire du muscle multifide par la hauteur du processus épineux correspondant, on n'observe plus de différence significative entre nos trois groupes de chevaux.

### **3.2.6 Etablissement d'une base de données des mesures du muscle multifide**

Nous nous sommes placés dans les mêmes conditions que pour l'établissement de la base de données de l'épaisseur du muscle droit de l'abdomen.

Les valeurs obtenues de l'aire du muscle multifide étant très variables au sein d'un même groupe et étant corrélées à la hauteur du processus épineux correspondant pour les points M1 et M2, nous avons utilisé les rapports M1/PE1 et M2/PE2 établis précédemment. Nous n'avons donc pas établi de valeurs de référence pour les mesures réalisées au point M3.

La base de données a été établie à partir des valeurs moyennes, minimales et maximales sans distinguer les trois groupes, puisqu'aucune différence n'a été mise en évidence entre eux. Elle fournit ainsi une valeur moyenne et un intervalle de référence, pour des chevaux sans antécédent connu de dorsalgie, quelle que soit leur activité (tableau XVIII).

**Tableau XVIII : Base de données des rapports de l'aire du muscle multifide sur la hauteur du processus épineux**

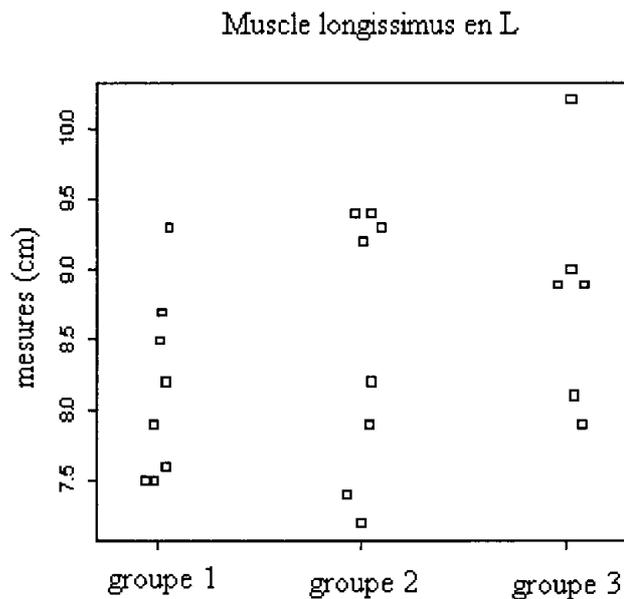
	Chevaux indemnes de dorsalgie
M1/PE1 (cm)	1,4 [1,1 – 1,8]
M2/PE2 (cm)	1,4 [1,1 – 1,9]

Cette base de données n'établit en aucun cas une série de normes. Elle a seulement pour vocation de pouvoir évaluer ce rapport, donner une idée de l'ordre de grandeur attendu chez un cheval sain et ainsi orienter le diagnostic en cas de suspicion de mauvais fonctionnement du dos du cheval ou de dorsalgie.

### 3.3 Muscle longissimus

#### 3.3.1 Analyse graphique

Les valeurs moyennes de la hauteur du muscle longissimus des chevaux des trois groupes ont été individuellement représentées graphiquement (figure 88). Comme nous l'avons constaté pour l'aire du muscle multifide, les trois groupes de chevaux sont très hétérogènes. Aucune différence entre ceux-ci ne peut être mise en évidence à l'aide seule de ce graphe.



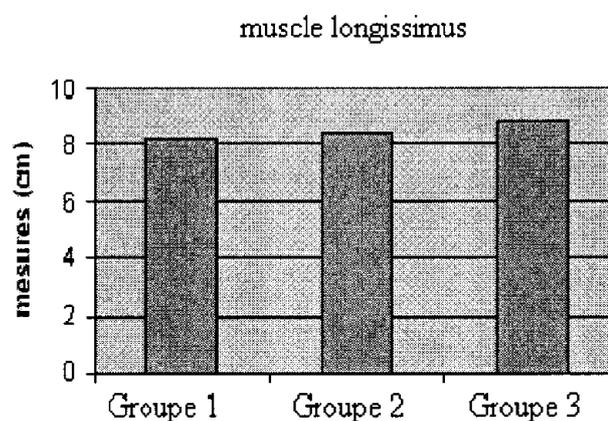
**Figure 88 : Représentation graphique des valeurs moyennes de L des 3 groupes**

Les valeurs moyennes, minimales et maximales de chaque groupe de chevaux ont été calculées et reportées dans le tableau ci-dessous (tableau XIX).

**Tableau XIX : Valeurs moyennes, minimales et maximales des 3 groupes pour L**

	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3
L (cm)	8,2 [7,5 – 9,3]	8,5 [7,2 – 9,4]	8,8 [7,9 – 10,2]

Les hauteurs moyennes du muscle longissimus obtenues pour chaque groupe ont été mises en parallèle à l'aide d'un diagramme en bâtons (figure 89). On constate une très légère augmentation de la hauteur moyenne du muscle longissimus du groupe 1 au groupe 3, la moyenne du groupe 2 étant intermédiaire.



**Figure 89 : Diagramme en bâtons présentant les moyennes des 3 groupes**

### 3.3.2 Tests de comparaison des moyennes

Les résultats du test statistique de comparaison des moyennes de la hauteur du muscle longissimus au point L sont présentés dans le tableau ci-dessous (tableau XX).

**Tableau XX : Résultats du test de comparaison des moyennes des 3 groupes au point L**

	L
Ordre de grandeur de p	$p \geq 0,05$
Conclusion	Pas de preuve de l'existence d'une différence significative

On ne peut pas conclure sur l'existence d'une différence significative de hauteur du muscle longissimus entre nos trois groupes de chevaux.

Comme pour le muscle multifide, ces résultats ne sont pas ceux auxquels nous nous attendions. En effet le muscle longissimus est le plus puissant muscle extenseur du dos et c'est lui qui porte la selle et le cavalier lorsque le cheval travaille. Nous pensions alors observer une différence significative de hauteur, au minimum entre les chevaux au repos et les chevaux à l'entraînement, qu'ils aient une activité polyvalente ou de dressage uniquement.

Cependant, comme nous l'avons rappelé dans la première partie concernant l'anatomie du rachis du cheval, le muscle longissimus s'étend du sommet des processus vertébraux épineux aux processus mamillaires et transverses (figure 25). On peut donc penser qu'outre le travail effectué par le cheval, la hauteur du muscle longissimus mesurée en coupe transversale au niveau de la dernière vertèbre lombaire est dépendante de la hauteur du processus épineux de cette dernière vertèbre lombaire. Nous avons alors recherché l'existence d'une corrélation linéaire entre ces deux paramètres.

### 3.3.3 Normalisation de la hauteur du muscle longissimus par la hauteur du processus épineux

Nous avons utilisé pour chaque cheval les mesures du processus épineux de la dernière vertèbre lombaire notées PE3 dans le paragraphe précédent (les mesures du muscle multifide M3 et du muscle longissimus L ont été réalisées au même point). Nous avons ensuite recherché une éventuelle corrélation linéaire entre la hauteur du muscle longissimus en coupe transversale et la hauteur du processus épineux.

Nous avons représenté graphiquement la hauteur du muscle longissimus en fonction de la hauteur du processus épineux mesurées au niveau de la dernière vertèbre lombaire en regroupant tous les chevaux des trois groupes (figure 90). En raison du faible nombre de points, il nous est difficile de conclure sur la forme elliptique ou non du nuage de points.

Hauteur du longissimus en fonction de celle du processus épineux en L

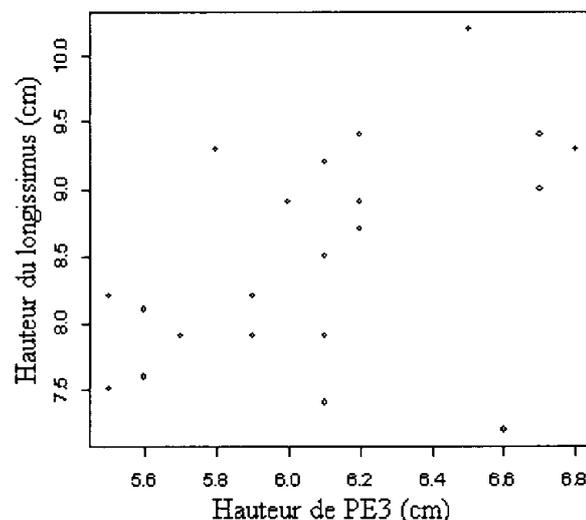


Figure 90 : Représentation graphique de la hauteur du muscle longissimus en fonction de la hauteur du processus épineux au niveau de la dernière vertèbre lombaire

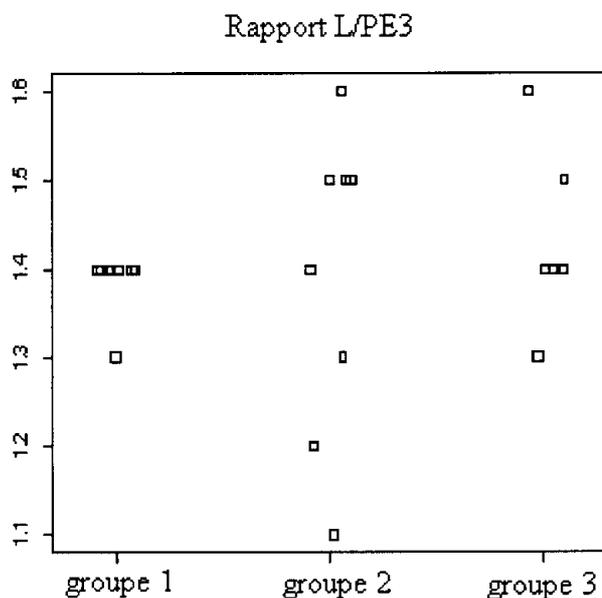
Un test non paramétrique de corrélation basé sur le coefficient de Spearman (noté ici r) est réalisé. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous (tableau XXI).

**Tableau XXI : Résultats du test non paramétrique de corrélation linéaire au point L**

	Estimation de r	Valeurs de p
Corrélation linéaire L et PE3	0,53	$0,01 \leq p < 0,05$

Ce test met en évidence une corrélation linéaire faible mais significative entre la hauteur du muscle longissimus et celle du processus épineux au point L.

L'existence d'une corrélation linéaire significativement positive entre la hauteur du muscle longissimus et celle du processus épineux de la dernière vertèbre lombaire nous conduit à réaliser une normalisation de la hauteur du muscle longissimus par la hauteur du processus épineux. Nous avons utilisé pour cela le rapport L/PE3 à partir des valeurs moyennes de la hauteur du muscle longissimus et de la hauteur du processus épineux pour chaque cheval (annexes 10, 11 et 12). Les valeurs obtenues pour chaque groupe ont été individuellement reportées sur le graphe suivant (figure 91). Cette représentation graphique ne met pas en évidence de différence entre les trois groupes.



**Figure 91 : Représentation graphique des valeurs moyennes de L/PE3 des 3 groupes**

Les valeurs moyennes des rapports de la hauteur du muscle longissimus sur la hauteur du processus épineux de la dernière vertèbre lombaire ont été calculées pour les trois groupes et sont présentées dans le tableau XXII ci-dessous.

**Tableau XXII : Valeurs moyennes des trois groupes du rapport de la hauteur du muscle longissimus sur celle du processus épineux**

	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3
L/PE3	1,4	1,4	1,4

La moyenne du rapport de la hauteur du muscle longissimus sur celle du processus épineux de la dernière vertèbre lombaire est la même pour les trois groupes.

### 3.3.4 Conclusion

Notre étude révèle l'absence de différence de hauteur du muscle longissimus mesurée au niveau de la dernière vertèbre lombaire, qu'elle soit normalisée ou non par la hauteur du processus épineux de cette vertèbre. Le type d'activité du cheval ne semble pas influencer sur le développement de ce muscle.

### 3.3.5 Etablissement d'une base de données des mesures du muscle longissimus

Nous nous sommes placés dans les mêmes conditions que pour l'établissement de la base de données de l'épaisseur du muscle droit de l'abdomen. Nous avons utilisé d'une part les valeurs de la hauteur du muscle multifide et d'autre part le rapport entre cette hauteur et celle du processus épineux de la dernière vertèbre lombaire.

Comme pour le muscle multifide, la base de données a été établie à partir des valeurs moyennes, minimales et maximales sans distinguer les trois groupes, puisqu'aucune différence n'a été mise en évidence entre eux. Elle fournit ainsi une valeur moyenne et un intervalle de référence, pour des chevaux sans antécédent connu de dorsalgie, quelle que soit leur activité (tableau XXIII).

**Tableau XXIII : Base de données des mesures du muscle longissimus**

	Chevaux indemnes de dorsalgie
L (cm)	1,3 [1,1 – 1,8]
L/PE3	8,6 [7,2 – 10,7]

Cette base de données n'établit en aucun cas une série de normes. Elle a seulement pour vocation de pouvoir évaluer ce rapport, donner une idée de l'ordre de grandeur attendu chez un cheval sain et ainsi orienter le diagnostic en cas de suspicion de mauvais fonctionnement du dos du cheval ou de dorsalgie.

## **4 DISCUSSION**

Notre discussion portera dans un premier temps sur le protocole que nous avons utilisé. Nous aborderons un à un les points critiquables et potentiellement perfectibles de notre travail expérimental. Nous nous intéresserons dans un second temps aux résultats que nous avons obtenus.

### **4.1 Discussion sur le protocole**

#### **4.1.1 Choix des sites de réalisation des mesures**

Notre choix des sites de réalisation des mesures s'est fait à partir de deux principaux points :

- nous voulions travailler sur des muscles visualisables dans leur globalité et dissociables à l'examen échographique
- nous ne souhaitons pas élaborer de nouveau protocole d'évaluation des masses musculaires mobilisatrices du rachis et avons décidé d'utiliser ceux établis précédemment.

Notre étude a donc porté sur la mesure des muscles droit de l'abdomen, multifide thoraco-lombaire et longissimus. Ces muscles sont d'un accès facile et aisément repérables sur l'image échographique en coupe transversale. Nous avons utilisé le protocole mis en place par Pierron S. en 2008 (70) pour la mesure des muscles droit de l'abdomen et multifide thoraco-lombaire. Pour l'étude du muscle longissimus, nous avons repris les travaux de Mc Gowan C. et al (63). Ce protocole nous a permis d'obtenir une image de la chaîne musculaire ventrale avec le muscle droit de l'abdomen et une image de la chaîne musculaire dorsale au travers des muscles multifide thoraco-lombaire et longissimus. Il aurait été souhaitable de s'intéresser également aux régions cervicale et sacrée, mais il paraît très difficile de réaliser une estimation fiable de ces masses musculaires à l'aide d'un examen échographique.

De plus, notre protocole nous a seulement permis de visualiser le muscle multifide en entier sur une même image échographique en coupe transversale. Nous avons donc pu mesurer l'aire de ce muscle. Mais pour les deux autres muscles, seules l'épaisseur du muscle droit de l'abdomen et la hauteur du muscle longissimus étaient accessibles. Le muscle droit de l'abdomen s'étendant en longueur du sternum au pubis, on peut supposer qu'une hypertrophie musculaire se traduit par une augmentation de son épaisseur. Cependant, le muscle longissimus joint le sommet des processus épineux thoraciques aux processus mamillaires lombaires, aux processus transverses thoraciques et à l'extrémité proximale des côtes. Ainsi, on peut penser qu'une hypertrophie de ce muscle se caractérise par une augmentation de sa taille globale c'est-à-dire de sa hauteur mais aussi de sa largeur en coupe transversale, que nous n'avons pas pu mesurer. Les résultats que nous avons obtenus à propos de la hauteur du muscle longissimus sont donc à relativiser.

#### **4.1.2 Répétabilité des mesures**

L'observation des valeurs obtenues au cours de notre étude met en évidence l'existence d'une variabilité inter-opérateur, mais également intra-opérateur. Il faut ainsi relativiser la pertinence des résultats des tests statistiques réalisés au cours de notre analyse.

Ceci est principalement valable pour les mesures du muscle multifide thoraco-lombaire. Les écarts entre les valeurs minimales et maximales des mesures faites en M1, M2 et M3 sont beaucoup plus importants que les écarts obtenus aux sites A1, A2, A3 et L.

### 4.1.3 Choix des chevaux utilisés pour l'étude

Les chevaux que nous avons utilisés pour notre étude ont été répartis en trois groupes. Le premier est constitué de chevaux ne travaillant pas et appartenant à l'effectif pédagogique de VetAgro Sup campus vétérinaire de Lyon, tandis que les chevaux du groupe 2 sont considérés comme polyvalents et sont montés dans plusieurs disciplines et les chevaux du groupe 3 ne pratiquent que le dressage. Les chevaux des groupes 2 et 3 sont la propriété de cavaliers amateurs, les ayant laissés à notre disposition pour la partie expérimentale de notre travail. Nous n'avons donc pas eu un large panel de chevaux dans lequel nous pouvions faire notre choix. Différents points concernant les chevaux entrant dans notre étude et pouvant influencer sur nos résultats sont à souligner.

(46), (73), (80)

Au sein de chacun des groupes de chevaux et entre les trois groupes, on observe une grande hétérogénéité, due à plusieurs facteurs :

- le **gabarit** : au sein des groupes, l'intervalle de taille dans lequel se situent tous les chevaux est large. Les tailles moyennes diffèrent entre les trois groupes. Il en est de même pour le poids des chevaux utilisés. Les chevaux ont également un modèle et une conformation générale différents. Ceci peut influencer sur leur musculature de base, leur locomotion et leur attitude lorsqu'ils sont au travail, et ainsi interférer avec ce que nous cherchons à mettre en évidence.
- la **race** : la variabilité de races est surtout intergroupe dans notre étude, les chevaux du groupe 1 étant principalement des Trotteur Français, tandis que les groupes 2 et 3 sont composés majoritairement de Selle Français. La différence de race entraîne généralement une différence de modèle et de locomotion, rejoignant alors le point précédent. La race semble également avoir une influence sur la taille des fibres musculaires squelettiques. Une étude réalisée par Rivero et al en 1995 (73) sur des chevaux de race Andalouse, Anglo-arabe et Pur sang arabe montre que l'aire des fibres musculaires en coupe transversale est plus grande chez les chevaux Andaloux que chez les Anglo-arabes, les Pur sang arabes étant intermédiaires.
- l'**âge** : il diffère largement au sein des trois groupes. Nous avons utilisé des chevaux âgés de 4 à 17 ans. L'âge a une influence sur le modèle du cheval, le travail qui lui est demandé et le développement de ses fibres musculaires. En effet, un cheval ne cesse de grandir et d'évoluer dans son modèle qu'à l'âge de 6 ans environ. Le travail des jeunes chevaux est beaucoup moins contraignant et technique. Enfin, il a été montré dans des études réalisées en 1983 par Henckel (46) sur de jeunes chevaux que la taille des fibres musculaires augmente avec l'âge. Inversement, une diminution de la taille des fibres musculaires est observée à partir d'un certain âge en médecine humaine (80). On peut donc penser qu'il en est de même chez les chevaux.
- le **niveau de travail du cheval** : au sein des groupes 2 et 3, le niveau des chevaux est très hétérogène. Des exercices différents, ne sollicitant pas les mêmes masses musculaires ou les sollicitant autrement, sont demandés aux chevaux. D'une façon

générale, les chevaux du groupe 3 ont un travail plus avancé que les chevaux du groupe 2.

- le **niveau du cavalier de chaque cheval** : les cavaliers des chevaux au sein des groupes 2 et 3 n'ont pas des niveaux équivalents. Cela rejoint le point précédent, ils n'exigent donc pas les mêmes exercices et les mêmes attitudes de leur cheval. Les muscles, notamment les muscles mobilisateurs de l'axe vertébral ne travaillent alors pas de la même façon.
- la **méthode de travail utilisée** : elle varie au sein même des groupes 2 et 3, et entre ces deux groupes. Si l'attitude recherchée et représentant l'aboutissement du travail est la même pour tous les chevaux (la nuque est le point le plus haut, le chanfrein est légèrement en avant de la verticale, les membres postérieurs sont engagés sous la masse, les hanches s'abaissent provoquant une élévation et un allègement de l'avant-main), les méthodes utilisées au quotidien pour y parvenir sont nombreuses. Ainsi certains chevaux sont travaillés, en flexion cervicale haute et basse, d'autres en flexion cervicale basse seulement, ou encore en extension cervicale basse et flexion cervicale haute. Ces différentes positions de la tête et de l'encolure influent sur la cinématique de la colonne thoraco-lombaire et lombo-sacrée comme nous l'avons vu dans la première partie. Les groupes musculaires mis en jeu sont alors différents.
- l'**intensité du travail** : nous avons précisé précédemment que les chevaux des groupes 2 et 3 travaillent tous en moyenne une heure chaque jour. Malgré cette similitude, durant cette séance quotidienne, l'intensité du travail diffère largement en fonction des chevaux et de leur cavalier. Elle est globalement plus importante pour les chevaux du groupe 3 par rapport à ceux du groupe 2. Ce paramètre est donc également à prendre en compte en tant que facteur limitant la pertinence de nos résultats.
- les **conditions de vie des chevaux** : elles sont environ identiques au sein de chaque groupe mais diffèrent largement d'un groupe à l'autre. En effet les chevaux du groupe 1 vivent au pré en troupeau, les chevaux du groupe 2 vivent au box avec une sortie quotidienne de quelques heures en paddock individuel pour la plupart d'entre eux tandis que les chevaux du groupe 3 vivent strictement au box. Les chevaux du groupe 1 sont donc libres de bouger à leur guise, ils se déplacent pour aller manger, boire et lorsqu'ils interagissent entre eux. Ainsi même s'ils ne sont pas travaillés, leur mode de vie permet un entretien voire un développement de leur musculature. Au contraire les chevaux de dressage vivant strictement au box n'ont quasiment pas de possibilité de se mouvoir au quotidien, hormis durant leur séance de travail. Le groupe 2 est intermédiaire puisque les chevaux disposent en plus de leur séance journalière de travail de quelques heures de liberté en paddock. Cependant, ces paddocks sont de taille réduite et les chevaux sont lâchés seuls, ce qui limite grandement leurs déplacements.

Un point important que nous venons d'aborder est à souligner : les chevaux de dressage du groupe 3 ont d'une façon générale un niveau plus élevé avec un travail plus soutenu et plus intense que les chevaux polyvalents du groupe 2. Cela peut être à l'origine d'un biais dans l'interprétation de nos résultats.

Il serait donc intéressant de répéter cette étude, avec des groupes de chevaux plus homogènes, un plus grand cheptel à notre disposition et un meilleur contrôle de leur travail, ce qui en pratique est difficilement réalisable.

#### **4.1.4 Représentativité des échantillons de chevaux**

Au sein de chacun des trois groupes, nous avons utilisé des chevaux de taille, poids, âge, sexe (hongres ou juments seulement, pas d'étalon) et niveaux de travail différents. Cependant, pour des raisons pratiques et de manque de chevaux à notre disposition, les effectifs sont faibles, notamment pour le groupe 3 des chevaux de dressage. On ne peut donc pas considérer que ces trois échantillons sont représentatifs de leurs populations respectives.

Nos résultats auraient une meilleure validité avec des effectifs beaucoup plus grands. Cependant, nous avons utilisé dans notre cas le maximum de chevaux entrant dans le cadre de l'étude dont nous disposions.

### **4.2 Discussion sur les résultats**

#### **4.2.1 Fiabilité des tests statistiques utilisés**

Pour l'analyse statistique de nos données, nous avons utilisé des tests de comparaison des moyennes. Ces tests sont d'autant plus puissants que :

- la taille des échantillons est grande
- la différence à détecter entre les groupes est grande
- la variabilité au sein des groupes comparés est faible.

Dans notre cas, les effectifs sont faibles et la variabilité au sein des groupes est assez importante, notamment pour les mesures du muscle multifide. Ces paramètres tendent donc à diminuer la puissance des tests.

Lorsque l'on obtient à l'issue de ces tests un  $p \geq 0,05$  ; on ne peut pas conclure à une absence de différence entre les groupes, mais seulement en l'absence de preuve de l'existence d'une différence entre les moyennes des groupes.

Lorsque nous obtenons un  $p < 0,05$  ; on ne peut conclure que sur l'existence d'une différence significative entre les moyennes des trois groupes. On ne peut rien affirmer à propos de l'amplitude de la différence entre les groupes.

Enfin, nous avons réalisé pour le muscle droit de l'abdomen et pour le muscle multifide des comparaisons multiples. Nous avons comparé les moyennes deux à deux à l'aide de tests statistiques. Ce procédé est acceptable dans notre cas, puisque nous travaillons avec trois groupes. Nous avons donc fait seulement trois comparaisons deux à deux pour chaque site de mesure. Il y a tout de même une accumulation des risques de première espèce (le risque de première espèce étant de 5% pour chaque test).

Ces points tendent à relativiser les résultats que nous avons obtenus.

#### **4.2.2 Résultats de l'étude du muscle droit de l'abdomen**

D'après notre étude, le muscle droit de l'abdomen est significativement plus épais chez les chevaux polyvalents et chez les chevaux de dressage que chez les chevaux au repos. Ce résultat est en accord avec l'augmentation globale de la masse musculaire généralement observée après quelques mois d'entraînement.

Toutefois, elle ne permet pas de conclure quant à l'existence d'une différence significative de l'épaisseur du muscle droit de l'abdomen entre les chevaux polyvalents et les chevaux de dressage.

Plusieurs explications sont possibles. Tout d'abord, le simple fait de trotter ou de galoper met en jeu la chaîne musculaire ventrale du cheval, hors les chevaux polyvalents et les chevaux de dressage sont travaillés à ces deux allures. Il est également important de constater que les exercices demandés aux chevaux de dressage tels que le rassembler ou les déplacements latéraux sollicitent fortement les muscles abdominaux de la ligne du dessous, mais c'est également le cas de certains efforts fournis par les chevaux polyvalents comme l'élévation de l'avant-main lors du saut. Enfin, la majorité des chevaux polyvalents font plusieurs séances de dressage par semaine, et réalisent donc les mêmes exercices sportifs induisant la contraction des mêmes groupes musculaires que les chevaux de dressage.

### **4.2.3 Résultats de l'étude du muscle multifide et du muscle longissimus**

Nous avons pu objectiver l'existence d'une différence significative de l'aire du muscle multifide entre les chevaux ne travaillant pas et les chevaux polyvalents. La superficie du muscle multifide est supérieure chez ces derniers. Aucune différence n'a pu être constatée entre les chevaux au repos et les chevaux de dressage, ainsi qu'entre les chevaux polyvalents et les chevaux de dressage.

Après normalisation de l'aire du muscle multifide par la hauteur du processus épineux correspondant, il n'y a plus aucune différence entre les moyennes de nos trois groupes. Notre étude ne nous a donc pas permis de confirmer notre hypothèse, à savoir un muscle multifide plus petit chez les chevaux ne travaillant pas et une différence entre les moyennes de l'aire du muscle multifide des chevaux polyvalents et des chevaux de dressage, ceux-ci n'ayant pas les mêmes activités.

Il en est de même pour les mesures du muscle longissimus. Contrairement à nos attentes, nous n'avons pu mettre en évidence aucune différence de hauteur entre les trois groupes de chevaux ayant des activités différentes, avec ou sans normalisation par la hauteur du processus épineux correspondant.

Ces deux muscles appartenant à la chaîne musculaire dorsale, il paraît cohérent que nous aboutissions à la même conclusion. Ces muscles ont un rôle essentiel de propulsion dans la locomotion du cheval et sont mis en jeu lorsqu'il se déplace au pas, au trot ou au galop. La ligne du dessus est sollicitée de façon importante dans les mouvements de dressage tels que le rassembler ou les appuyers, mais aussi lors de l'élévation de l'avant-main nécessaire au franchissement d'un obstacle. Ceci peut expliquer le fait que l'on n'obtienne dans notre étude pas de différence de taille des muscles multifide et longissimus malgré les différents types d'activités des chevaux.

Toutefois, il est fondamental de renforcer la ligne du dessous avant de développer la ligne du dessus. L'inverse se produit lorsque les chevaux sont mal travaillés. La principale qualité que doit posséder la chaîne musculaire dorsale est sa souplesse et sa capacité à se relâcher et se décontracter. Ainsi contrairement à la ligne du dessous, un important développement musculaire de la ligne du dessus n'est pas nécessaire pour obtenir un travail juste et correct du cheval. De plus, ces muscles sont mis en tension lors d'inquiétude, de résistance du cheval ou de conflit avec son cavalier. La chaîne musculaire dorsale est ainsi le groupe musculaire prédominant chez les chevaux mal travaillés. Ces différents points permettent de relativiser l'importance du développement des muscles multifide et

longissimus avec le travail et en fonction du type de travail demandé au cheval et peut expliquer les résultats de notre étude.

## **5 CONCLUSION**

Les différentes hypothèses que nous avons émises n'ont pas toutes été vérifiées suite à notre étude expérimentale. En effet nous avons seulement pu mettre en évidence une différence de l'épaisseur du muscle droit de l'abdomen entre les chevaux au repos et ceux au travail. Deux théories peuvent être avancées pour expliquer nos résultats :

- notre étude a été faussée par les nombreux biais cités ci-dessus auxquels nous avons été confrontés
- la ligne du dessus ne doit pas nécessairement être puissante, mais souple et relâchée afin d'obtenir un travail juste de la part du cheval. Seule la ligne du dessous doit être forte. C'est pourquoi nous n'observons pas de différence de taille des muscles multifide et longissimus entre nos trois groupes de chevaux malgré le fait que les chevaux de chaque groupe effectuent un travail quotidien différent.

Il serait intéressant de réaliser une nouvelle fois cette étude expérimentale avec un meilleur contrôle des biais afin de confirmer l'une des deux hypothèses.

Enfin, peut-être aurions-nous pu prendre en compte en plus de la taille des muscles, leur aspect à l'examen échographique, leur contractilité ou d'autres paramètres biochimiques par exemple.



## CONCLUSION

Le rachis du cheval constitue un élément primordial dans la biomécanique, supportant le poids de la selle et du cavalier. Les muscles mobilisateurs de l'axe vertébral sont constamment sollicités lorsque le cheval travaille, avec des contraintes différentes en fonction du type d'activité du cheval. Cependant, l'entraînement quotidien des chevaux de dressage et des chevaux d'obstacle peut comporter des similitudes. Dans ces deux cas, le cavalier cherche à obtenir de son cheval une extension thoracique et lombo-sacrée afin de permettre l'engagement des postérieurs sous la masse. Il peut utiliser pour y parvenir les mêmes exercices, comme par exemple les déplacements latéraux. Au contraire, il existe différentes méthodes de travail des chevaux, notamment en dressage. Certains préconisent et imposent à leurs chevaux une flexion cervicale basse ainsi qu'une flexion cervicale haute, tandis que d'autres leur demandent d'adopter une attitude plus haute avec une extension cervicale basse et une flexion cervicale haute.

Au cours de cette étude, nous avons mesuré par un examen échographique et comparé les masses musculaires mobilisatrices de l'axe vertébral sur des chevaux ayant différents types d'activités. Nous souhaitions vérifier l'existence d'une hypertrophie des masses musculaires chez les chevaux au travail et d'une différence au niveau des chaînes dorsales et ventrales entre les chevaux de dressage et les chevaux « polyvalents ». Nous avons seulement pu mettre en évidence une différence de masse musculaire au niveau de la ligne ventrale entre les chevaux au repos et les chevaux au travail, qu'ils soient « polyvalents » ou exclusivement montés en dressage. Nous n'avons constaté aucune différence de masses musculaires de la ligne dorsale en fonction de l'activité des chevaux.

L'évaluation qualitative et quantitative des masses musculaires mobilisatrices du rachis du cheval est importante pour le vétérinaire. Elle peut permettre l'établissement du diagnostic et le suivi des dorsalgies, dont le principal signe clinique est une baisse de performance. Une bonne connaissance de l'implication des chaînes musculaires ventrale et dorsale dans les différents exercices utilisés en équitation est capitale afin de pouvoir conseiller le cavalier dans le travail de son cheval et l'orienter vers les exercices adaptés à la conformation du cheval, à sa locomotion, son niveau d'entraînement et ses éventuelles pathologies.

**Le Professeur responsable  
VetAgro Sup campus vétérinaire**



Pr. Olivier LEPAGE  
Chirurgie & Orthopédie  
Pôle Equin, ENVL  
DMV, MSc, PD, DES, Dipl. ECVS

**Le Directeur général  
VetAgro Sup**

Par délégation  
Pr F. Grain - DEVE



VetAgro Sup  
Campus Vétérinaire

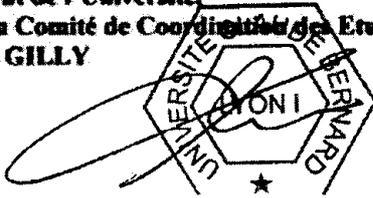
**Le Président de la thèse**



**Vu et permis d'imprimer**

Lyon, le 06 JUILLET 2011

**Pour le Président de l'Université,  
Le Président du Comité de Coordonnées des Etudes Médicales,  
Professeur F.N GILLY**



# ANNEXES

## Annexe 1

Mesures des muscles droit de l'abdomen, multifide et longissimus des chevaux du groupe 1:

### Globule

	Gauche		Droite	
	Opérateur 1	Opérateur 2	Opérateur 1	Opérateur 2
A1 (mm)	6,1 / 5,8 / 5,7	6,2 / 6,0 / 6,8	5,8 / 5,7 / 5,7	6,0 / 6,0 / 6,2
A2 (mm)	5,5 / 5,6 / 6,0	5,4 / 5,2 / 5,1	5,3 / 5,6 / 5,7	5,3 / 4,9 / 5,9
A3 (mm)	5,8 / 6,2 / 6,4	5,8 / 5,4 / 6,4	5,6 / 5,9 / 5,7	5,9 / 5,8 / 6,0
M1 (cm <sup>2</sup> )	6,0 / 7,3 / 6,8	6,4 / 7,4 / 7,9	6,2 / 7,1 / 6,9	7,5 / 8,2 / 7,8
M2 (cm <sup>2</sup> )	6,9 / 7,2 / 6,8	6,5 / 7,0 / 7,0	6,8 / 6,7 / 7,5	6,8 / 7,7 / 7,6
M3 (cm <sup>2</sup> )	7,5 / 9,1 / 8,0	8,0 / 6,9 / 8,5	6,7 / 8,3 / 7,7	7,7 / 7,2 / 8,3
L (cm)	8,4 / 8,5 / 8,5	8,6 / 8,3 / 8,6	8,7 / 8,6 / 8,7	8,8 / 8,4 / 8,1

### Hermès

	Gauche		Droite	
	Opérateur 1	Opérateur 2	Opérateur 1	Opérateur 2
A1 (mm)	7,8 / 7,3 / 7,4	7,4 / 7,9 / 6,8	6,9 / 6,8 / 6,8	5,4 / 6,9 / 7,1
A2 (mm)	5,2 / 4,6 / 5,4	4,8 / 5,1 / 5,2	4,8 / 4,5 / 5,0	4,6 / 5,4 / 5,6
A3 (mm)	6,0 / 5,5 / 4,3	5,2 / 5,5 / 5,2	5,4 / 4,9 / 5,6	5,4 / 5,1 / 5,2
M1 (cm <sup>2</sup> )	6,1 / 7,0 / 7,1	7,1 / 7,5 / 6,8	6,1 / 7,1 / 6,8	7,5 / 7,2 / 7,0
M2 (cm <sup>2</sup> )	5,7 / 7,3 / 7,5	6,6 / 7,6 / 8,7	7,0 / 7,1 / 8,1	6,5 / 6,7 / 7,2
M3 (cm <sup>2</sup> )	7,3 / 7,4 / 7,8	7,4 / 7,8 / 6,6	8,2 / 7,3 / 8,0	7,1 / 6,8 / 7,9
L (cm)	9,1 / 8,5 / 8,8	8,5 / 8,6 / 8,3	8,7 / 8,5 / 8,2	9,1 / 8,8 / 8,7

### Maman

	Gauche		Droite	
	Opérateur 1	Opérateur 2	Opérateur 1	Opérateur 2
A1 (mm)	6,5 / 8,2 / 7,3	6,8 / 7,0 / 6,9	7,1 / 7,8 / 7,3	5,9 / 7,1 / 6,4
A2 (mm)	6,5 / 5,1 / 5,0	5,5 / 5,1 / 5,4	6,8 / 5,7 / 5,2	4,3 / 4,8 / 4,5
A3 (mm)	6,4 / 5,5 / 6,0	5,9 / 5,7 / 4,1	5,7 / 6,3 / 5,6	4,5 / 4,5 / 4,4
M1 (cm <sup>2</sup> )	7,1 / 6,7 / 5,2	6,3 / 7,3 / 6,5	6,6 / 6,2 / 6,2	6,9 / 7,0 / 6,9
M2 (cm <sup>2</sup> )	7,3 / 7,7 / 7,1	9,1 / 7,2 / 7,5	7,9 / 6,6 / 6,8	8,2 / 7,1 / 6,9
M3 (cm <sup>2</sup> )	7,0 / 7,4 / 8,9	7,9 / 7,4 / 7,4	8,0 / 8,3 / 9,1	7,4 / 6,8 / 7,1
L (cm)	8,1 / 8,0 / 8,3	7,1 / 7,6 / 7,6	8,7 / 8,1 / 8,4	7,8 / 7,8 / 7,7

### Montaigne

	Gauche		Droite	
	Opérateur 1	Opérateur 2	Opérateur 1	Opérateur 2
A1 (mm)	6,5 / 6,4 / 6,7	6,7 / 6,9 / 6,7	6,6 / 6,6 / 6,6	7,0 / 6,4 / 7,2
A2 (mm)	6,8 / 5,6 / 5,6	5,7 / 5,8 / 6,2	6,3 / 6,2 / 5,9	6,2 / 6,4 / 6,1
A3 (mm)	6,6 / 7,3 / 7,2	6,6 / 7,0 / 7,1	7,1 / 7,3 / 7,6	6,4 / 6,3 / 7,4
M1 (cm <sup>2</sup> )	8,1 / 8,0 / 8,0	8,4 / 10,0 / 9,0	9,1 / 8,4 / 10,2	9,6 / 9,5 / 9,1
M2 (cm <sup>2</sup> )	9,3 / 9,1 / 10,2	8,5 / 8,1 / 7,6	8,7 / 10,2 / 11,2	10,0 / 8,4 / 8,3
M3 (cm <sup>2</sup> )	8,1 / 7,6 / 9,6	9,0 / 8,0 / 8,3	8,6 / 8,1 / 10,3	7,5 / 10,4 / 8,3
L (cm)	8,8 / 9,0 / 9,3	8,8 / 9,0 / 9,2	9,3 / 9,8 / 10,5	9,4 / 9,1 / 9,4

## New

	Gauche		Droite	
	Opérateur 1	Opérateur 2	Opérateur 1	Opérateur 2
A1 (mm)	5,5 / 5,7 / 6,2	6,1 / 6,8 / 6,8	4,6 / 5,4 / 5,9	6,3 / 6,0 / 6,2
A2 (mm)	4,6 / 5,0 / 4,5	4,9 / 4,9 / 4,9	5,0 / 4,9 / 4,6	4,5 / 4,9 / 4,6
A3 (mm)	5,4 / 5,1 / 5,6	4,6 / 4,8 / 5,1	5,4 / 5,4 / 5,5	4,5 / 4,6 / 5,3
M1 (cm <sup>2</sup> )	5,8 / 7,1 / 6,5	6,2 / 6,8 / 6,4	5,6 / 6,2 / 5,8	7,0 / 7,2 / 7,2
M2 (cm <sup>2</sup> )	8,8 / 8,0 / 7,2	7,0 / 7,2 / 8,1	8,0 / 7,9 / 7,9	7,2 / 7,9 / 8,7
M3 (cm <sup>2</sup> )	8,7 / 9,1 / 8,4	7,9 / 9,2 / 9,4	8,6 / 8,4 / 7,2	7,7 / 7,9 / 8,1
L (cm)	8,2 / 7,6 / 7,6	7,3 / 7,3 / 7,1	7,9 / 8,1 / 8,4	7,3 / 7,8 / 7,3

## Ophélie A

	Gauche		Droite	
	Opérateur 1	Opérateur 2	Opérateur 1	Opérateur 2
A1 (mm)	7,6 / 7,0 / 6,4	6,4 / 7,0 / 7,2	7,1 / 6,1 / 7,0	6,6 / 7,0 / 6,4
A2 (mm)	5,1 / 4,8 / 4,8	4,6 / 4,3 / 5,4	5,3 / 4,9 / 4,7	4,4 / 4,4 / 5,2
A3 (mm)	4,6 / 4,5 / 4,6	4,7 / 5,0 / 4,8	5,4 / 5,5 / 5,5	5,1 / 5,0 / 5,1
M1 (cm <sup>2</sup> )	5,9 / 7,5 / 7,8	6,8 / 6,7 / 6,7	6,3 / 6,0 / 6,9	7,1 / 7,7 / 6,6
M2 (cm <sup>2</sup> )	6,0 / 6,3 / 7,2	5,9 / 6,9 / 6,9	6,0 / 6,1 / 7,3	5,2 / 7,2 / 7,7
M3 (cm <sup>2</sup> )	7,4 / 7,9 / 8,3	7,3 / 7,0 / 7,6	6,7 / 7,8 / 7,4	7,8 / 8,3 / 8,0
L (cm)	7,2 / 8,4 / 8,3	7,8 / 8,5 / 8,3	8,0 / 7,7 / 8,2	8,1 / 9,0 / 8,6

## Ophélie B

	Gauche		Droite	
	Opérateur 1	Opérateur 2	Opérateur 1	Opérateur 2
A1 (mm)	5,5 / 5,7 / 4,7	4,7 / 6,5 / 5,4	5,1 / 5,2 / 5,6	5,4 / 6,1 / 4,8
A2 (mm)	5,6 / 5,4 / 5,5	5,9 / 5,9 / 5,2	5,1 / 5,2 / 5,0	5,4 / 5,2 / 5,2
A3 (mm)	5,5 / 5,7 / 5,4	5,0 / 6,3 / 6,0	5,8 / 5,6 / 5,1	5,1 / 5,7 / 5,4
M1 (cm <sup>2</sup> )	6,5 / 6,7 / 7,1	7,2 / 7,1 / 7,5	7,1 / 6,9 / 6,9	6,5 / 7,2 / 6,9
M2 (cm <sup>2</sup> )	6,4 / 6,6 / 6,8	7,4 / 7,0 / 6,4	6,4 / 5,8 / 5,5	7,8 / 6,7 / 8,0
M3 (cm <sup>2</sup> )	7,3 / 6,3 / 7,1	8,1 / 7,6 / 6,4	6,8 / 6,4 / 6,4	7,7 / 7,6 / 7,8
L (cm)	7,4 / 7,3 / 7,7	7,4 / 6,9 / 7,4	7,1 / 7,8 / 7,5	7,8 / 7,4 / 7,7

## Renardo

	Gauche		Droite	
	Opérateur 1	Opérateur 2	Opérateur 1	Opérateur 2
A1 (mm)	6,5 / 6,3 / 6,0	6,1 / 7,6 / 5,2	6,5 / 6,6 / 6,7	7,2 / 7,3 / 5,1
A2 (mm)	7,0 / 5,9 / 5,5	6,6 / 5,1 / 6,7	5,6 / 6,8 / 5,5	5,7 / 5,5 / 6,0
A3 (mm)	5,0 / 5,6 / 6,6	3,8 / 5,4 / 4,6	5,6 / 5,5 / 6,0	3,4 / 5,8 / 4,6
M1 (cm <sup>2</sup> )	9,1 / 9,9 / 9,8	9,2 / 7,1 / 9,4	8,3 / 10,4 / 9,4	10,3 / 8,2 / 10,5
M2 (cm <sup>2</sup> )	6,2 / 7,4 / 7,0	6,8 / 6,1 / 6,0	6,0 / 6,5 / 6,1	6,5 / 7,4 / 5,8
M3 (cm <sup>2</sup> )	9,3 / 7,9 / 7,9	7,5 / 8,1 / 8,5	8,6 / 8,1 / 8,1	7,7 / 8,5 / 8,5
L (cm)	8,4 / 8,2 / 7,5	6,8 / 6,9 / 7,1	7,0 / 7,6 / 7,2	7,0 / 8,0 / 7,9

## Annexe 2

Mesures des muscles droit de l'abdomen, multifide et longissimus des chevaux du groupe 2 :

Noreen

	Gauche		Droite	
	Opérateur 1	Opérateur 2	Opérateur 1	Opérateur 2
A1 (mm)	7,2 / 6,3 / 7,4	6,9 / 6,6 / 6,2	6,9 / 6,3 / 7,1	6,4 / 6,3 / 6,2
A2 (mm)	7,7 / 7,0 / 7,0	6,9 / 6,7 / 6,7	6,8 / 6,8 / 6,9	6,8 / 6,3 / 5,9
A3 (mm)	7,5 / 7,0 / 6,7	6,2 / 6,7 / 6,3	7,5 / 7,2 / 7,4	6,6 / 6,6 / 6,2
M1 (cm <sup>2</sup> )	7,8 / 8,0 / 8,2	9,7 / 9,6 / 8,8	8,0 / 8,3 / 7,5	9,5 / 9,1 / 8,1
M2 (cm <sup>2</sup> )	9,6 / 6,9 / 9,5	9,3 / 7,3 / 8,0	8,3 / 7,9 / 7,8	8,8 / 7,8 / 8,7
M3 (cm <sup>2</sup> )	7,7 / 9,2 / 10,7	9,5 / 10,2 / 10,0	9,7 / 7,6 / 8,5	9,8 / 10,1 / 10,0
L (cm)	9,7 / 9,3 / 9,3	9,2 / 9,2 / 9,5	9,4 / 10,3 / 9,3	9,0 / 9,6 / 9,3

Louna

	Gauche		Droite	
	Opérateur 1	Opérateur 2	Opérateur 1	Opérateur 2
A1 (mm)	13,0 / 11,0 / 12,2	13,0 / 12,4 / 10,9	11,4 / 10,8 / 10,6	11,1 / 11,7 / 10,5
A2 (mm)	8,8 / 11,7 / 11,5	10,9 / 11,3 / 10,1	9 / 10,2 / 11,0	10,4 / 10,0 / 8,9
A3 (mm)	12,1 / 11,6 / 11,5	13,2 / 11,6 / 12,3	12,5 / 11,3 / 12,1	11,8 / 11,1 / 9,8
M1 (cm <sup>2</sup> )	8,9 / 9,3 / 10,2	8,1 / 6,7 / 9,7	9,6 / 10,0 / 10,0	9,8 / 8,0 / 8,6
M2 (cm <sup>2</sup> )	8,3 / 8,2 / 9,3	8,9 / 7,9 / 8,6	8,0 / 8,7 / 9,1	9,4 / 7,4 / 8,9
M3 (cm <sup>2</sup> )	9,5 / 7,1 / 7,6	8,0 / 7,4 / 7,9	9,5 / 9,7 / 7,1	8,3 / 8,7 / 6,1
L (cm)	7,4 / 7,4 / 7,6	7,3 / 7,4 / 7,1	7,7 / 7,7 / 7,5	7,2 / 7,3 / 7,4

Najma

	Gauche		Droite	
	Opérateur 1	Opérateur 2	Opérateur 1	Opérateur 2
A1 (mm)	9,3 / 7,9 / 7,3	7,0 / 6,6 / 7,9	8,6 / 8,3 / 8,0	7,2 / 9,3 / 7,0
A2 (mm)	6,9 / 7,3 / 7,0	6,3 / 6,7 / 6,3	7,2 / 7,5 / 7,0	6,1 / 6,2 / 6,1
A3 (mm)	6,6 / 6,4 / 6,3	5,4 / 5,4 / 5,0	6,1 / 7,1 / 6,1	6,3 / 5,6 / 5,7
M1 (cm <sup>2</sup> )	6,8 / 8,9 / 8,4	7,3 / 10,3 / 10,7	6,8 / 7,4 / 9,3	7,6 / 10,6 / 10,7
M2 (cm <sup>2</sup> )	7,9 / 8,3 / 8,5	8,0 / 9,3 / 9,4	7,5 / 7,6 / 8,2	7,7 / 7,6 / 7,8
M3 (cm <sup>2</sup> )	7,8 / 9,6 / 8,1	8,5 / 7,0 / 7,7	7,7 / 9,7 / 9,2	9,5 / 8,5 / 8,8
L (cm)	8,1 / 8,7 / 8,2	7,8 / 7,3 / 7,9	8,0 / 9,4 / 8,4	7,8 / 8,0 / 7,8

Passion

	Gauche		Droite	
	Opérateur 1	Opérateur 2	Opérateur 1	Opérateur 2
A1 (mm)	8,8 / 8,4 / 8,7	9,1 / 8,5 / 8,8	9,2 / 9,8 / 9,1	9,4 / 9,8 / 9,7
A2 (mm)	5,9 / 5,3 / 5,8	6,1 / 5,9 / 5,6	5,9 / 5,6 / 6,4	5,9 / 7,0 / 6,2
A3 (mm)	6,4 / 5,3 / 6,9	6,8 / 7,9 / 7,4	6,2 / 6,0 / 5,7	6,6 / 6,8 / 6,9
M1 (cm <sup>2</sup> )	9,6 / 7,6 / 9,0	8,7 / 11,4 / 10,1	10,6 / 7,7 / 7,5	9,7 / 9,7 / 10,9
M2 (cm <sup>2</sup> )	8,4 / 7,7 / 7,7	9,9 / 8,5 / 10,3	9,6 / 7,9 / 8,3	8,8 / 10,0 / 9,1
M3 (cm <sup>2</sup> )	9,8 / 9,1 / 8,7	9,9 / 9,5 / 10,0	10,1 / 10,4 / 10,6	9,1 / 9,6 / 9,9
L (cm)	9,6 / 9,6 / 8,9	9,2 / 9,0 / 9,1	9,9 / 9,6 / 9,3	9,5 / 9,7 / 9,4

## Patient

	Gauche		Droite	
	Opérateur 1	Opérateur 2	Opérateur 1	Opérateur 2
A1 (mm)	9,2 / 9,1 / 8,8	8,7 / 9,4 / 9,4	7,3 / 8,8 / 8,3	9,6 / 10,2 / 9,6
A2 (mm)	8,5 / 8,7 / 7,7	7,3 / 8,5 / 7,7	7,1 / 8,4 / 7,9	7,8 / 7,3 / 7,0
A3 (mm)	9,2 / 8,9 / 9,4	9,1 / 8,5 / 9,1	10,5 / 10,6 / 11,4	7,8 / 9,3 / 8,9
M1 (cm <sup>2</sup> )	8,0 / 8,3 / 10,4	10,0 / 11,0 / 10,7	8,9 / 8,4 / 7,3	10,0 / 9,3 / 10,7
M2 (cm <sup>2</sup> )	8,3 / 10,4 / 11,0	10,8 / 10,8 / 11,1	10,2 / 9,6 / 8,2	9,8 / 10,1 / 10,7
M3 (cm <sup>2</sup> )	7,3 / 9,0 / 9,6	10,9 / 9,6 / 12,4	9,4 / 10,2 / 9,9	8,9 / 9,8 / 11,0
L (cm)	10,0 / 9,5 / 9,4	9,3 / 8,8 / 9,0	8,9 / 9,3 / 9,5	8,9 / 9,4 / 9,0

## Phébus

	Gauche		Droite	
	Opérateur 1	Opérateur 2	Opérateur 1	Opérateur 2
A1 (mm)	5,9 / 6,6 / 6,0	6,2 / 6,3 / 6,4	6,2 / 6,3 / 6,2	6,4 / 6,1 / 6,0
A2 (mm)	5,1 / 5,1 / 5,3	5,0 / 5,9 / 4,7	5,0 / 6,2 / 5,4	5,5 / 6,2 / 5,4
A3 (mm)	7,5 / 7,4 / 7,2	7,0 / 7,9 / 7,9	7,8 / 7,6 / 7,8	7,2 / 7,9 / 7,3
M1 (cm <sup>2</sup> )	8,8 / 10,4 / 8,8	7,4 / 9,0 / 8,2	6,8 / 8,5 / 7,6	9,1 / 8,4 / 8,6
M2 (cm <sup>2</sup> )	8,5 / 11,9 / 7,9	8,5 / 8,9 / 8,9	10,1 / 9,2 / 7,8	9,0 / 8,9 / 8,1
M3 (cm <sup>2</sup> )	10,3 / 11,0 / 7,2	9,3 / 8,7 / 8,1	11,1 / 10,3 / 8,1	9,7 / 9,1 / 8,2
L (cm)	7,7 / 8,2 / 8,1	8,1 / 7,9 / 8,1	7,8 / 8,1 / 8,0	7,5 / 7,8 / 7,8

## Quiz

	Gauche		Droite	
	Opérateur 1	Opérateur 2	Opérateur 1	Opérateur 2
A1 (mm)	7,7 / 7,9 / 6,2	8,3 / 8,6 / 8,4	7,1 / 6,3 / 6,5	7,4 / 7,1 / 7,7
A2 (mm)	6,6 / 5,3 / 5,1	4,7 / 4,8 / 5,3	6,5 / 5,3 / 6,0	5,5 / 4,6 / 5,9
A3 (mm)	7,5 / 7,3 / 7,1	5,9 / 6,4 / 6,7	6,9 / 7,9 / 6,8	6,7 / 7,1 / 6,3
M1 (cm <sup>2</sup> )	6,9 / 7,2 / 7,0	8,8 / 7,3 / 6,9	6,8 / 6,5 / 7,2	7,6 / 6,0 / 7,6
M2 (cm <sup>2</sup> )	8,3 / 8,0 / 8,1	7,2 / 7,7 / 6,9	7,1 / 7,2 / 8,0	8,1 / 6,8 / 8,0
M3 (cm <sup>2</sup> )	7,6 / 7,7 / 8,7	6,8 / 7,9 / 7,2	7,8 / 7,9 / 7,7	7,6 / 7,4 / 7,6
L (cm)	7,4 / 7,4 / 7,6	6,8 / 6,9 / 6,7	7,0 / 7,6 / 7,6	7,0 / 6,5 / 7,5

## Sire

	Gauche		Droite	
	Opérateur 1	Opérateur 2	Opérateur 1	Opérateur 2
A1 (mm)	9,7 / 8,8 / 8,8	8,0 / 8,9 / 7,8	9,2 / 9,1 / 8,3	8,7 / 8,4 / 9,2
A2 (mm)	8,0 / 7,1 / 7,1	7,0 / 8,5 / 7,4	7,8 / 7,0 / 7,1	6,9 / 7,2 / 7,1
A3 (mm)	8,5 / 9,2 / 8,4	8,2 / 7,4 / 8,5	8,7 / 8,9 / 8,5	8,3 / 7,8 / 8,5
M1 (cm <sup>2</sup> )	9,3 / 8,4 / 9,6	10,3 / 9,1 / 9,2	8,3 / 7,8 / 8,6	10,2 / 10,0 / 8,7
M2 (cm <sup>2</sup> )	7,3 / 9,5 / 9,2	9,4 / 9,1 / 7,8	7,6 / 9,0 / 9,6	10,4 / 8,9 / 8,8
M3 (cm <sup>2</sup> )	8,2 / 8,8 / 8,6	10,8 / 10,5 / 9,5	9,2 / 9,3 / 8,3	9,2 / 9,4 / 9,2
L (cm)	9,3 / 8,7 / 9,1	9,5 / 10,0 / 9,7	9,1 / 8,7 / 9,1	8,9 / 8,8 / 9,1

### Annexe 3

Mesures des muscles droit de l'abdomen, multifide et longissimus des chevaux du groupe 3 :

De Nyla

	Gauche		Droite	
	Opérateur 1	Opérateur 2	Opérateur 1	Opérateur 2
A1 (mm)	13,3 / 13,7 / 12,7	14,5 / 12,1 / 12,1	13,8 / 13,6 / 13,6	11,9 / 12,0 / 10,1
A2 (mm)	10,6 / 9,1 / 9,2	11,2 / 8,7 / 8,9	10,0 / 9,1 / 8,8	9,6 / 8,8 / 8,8
A3 (mm)	10,3 / 9,6 / 10,3	9,6 / 10,0 / 9,8	10,3 / 9,6 / 10,3	9,7 / 8,9 / 8,9
M1 (cm <sup>2</sup> )	6,5 / 7,7 / 7,1	6,4 / 6,9 / 7,5	6,4 / 6,6 / 7,1	7,2 / 7,7 / 7,2
M2 (cm <sup>2</sup> )	7,1 / 7,4 / 7,0	6,8 / 8,5 / 6,8	7,7 / 7,7 / 7,7	7,5 / 6,6 / 7,1
M3 (cm <sup>2</sup> )	7,8 / 7,7 / 6,9	6,5 / 6,7 / 6,1	7,3 / 7,6 / 7,6	7,1 / 6,7 / 7,1
L (cm)	8,0 / 7,7 / 7,6	8,0 / 7,9 / 7,9	8,2 / 8,3 / 8,2	8,7 / 8,0 / 8,4

Figaro

	Gauche		Droite	
	Opérateur 1	Opérateur 2	Opérateur 1	Opérateur 2
A1 (mm)	12,1 / 10,7 / 11,1	11,6 / 11,5 / 11,6	13,8 / 11,6 / 13,3	11,8 / 10,3 / 11,3
A2 (mm)	7,9 / 8,3 / 7,9	7,6 / 8,8 / 8,7	7,7 / 7,9 / 7,5	7,3 / 7,3 / 7,3
A3 (mm)	8,1 / 8,3 / 8,8	9,1 / 10,1 / 9,2	7,6 / 7,1 / 8,0	9,1 / 8,8 / 8,1
M1 (cm <sup>2</sup> )	7,7 / 6,1 / 7,2	6,4 / 7,3 / 9,4	6,9 / 5,5 / 7,6	6,3 / 7,1 / 8,7
M2 (cm <sup>2</sup> )	9,5 / 7,4 / 9,6	6,7 / 7,6 / 8,1	9,6 / 8,7 / 9,3	6,5 / 8,1 / 7,6
M3 (cm <sup>2</sup> )	7,2 / 8,8 / 7,4	9,2 / 10,7 / 8,5	9,4 / 7,1 / 6,7	8,5 / 8,7 / 10,2
L (cm)	8,7 / 8,6 / 9,7	8,5 / 8,7 / 9,0	8,9 / 8,7 / 9,0	8,6 / 9,0 / 8,8

Mel

	Gauche		Droite	
	Opérateur 1	Opérateur 2	Opérateur 1	Opérateur 2
A1 (mm)	10,3 / 10,3 / 10,4	11,5 / 10,0 / 11,2	10,0 / 10,2 / 9,3	11,1 / 9,7 / 10,8
A2 (mm)	8,7 / 8,4 / 8,8	8,9 / 7,6 / 9,3	8,4 / 8,2 / 8,2	8,6 / 7,9 / 8,5
A3 (mm)	8,9 / 9,0 / 9,7	9,6 / 10,0 / 9,8	9,3 / 8,5 / 9,9	9,0 / 9,9 / 9,1
M1 (cm <sup>2</sup> )	10,3 / 10,1 / 8,8	9,9 / 10,3 / 10,0	9,3 / 8,3 / 8,7	8,7 / 9,5 / 9,9
M2 (cm <sup>2</sup> )	10,1 / 9,6 / 9,9	7,5 / 10,3 / 8,6	9,3 / 8,8 / 8,7	8,8 / 10,3 / 9,7
M3 (cm <sup>2</sup> )	9,8 / 8,2 / 9,7	9,1 / 8,0 / 10,3	8,2 / 8,3 / 9,9	10,7 / 8,9 / 10,4
L (cm)	10,7 / 10,4 / 9,2	10,7 / 10,0 / 10,2	10,0 / 10,1 / 10,5	10,4 / 10,1 / 10,0

Rafale

	Gauche		Droite	
	Opérateur 1	Opérateur 2	Opérateur 1	Opérateur 2
A1 (mm)	9,8 / 9,8 / 10,2	9,6 / 9,3 / 9,4	9,8 / 10,0 / 8,5	9,6 / 8,0 / 8,1
A2 (mm)	9,0 / 7,8 / 7,8	6,3 / 7,0 / 7,5	8,5 / 7,8 / 7,6	7,0 / 6,4 / 7,2
A3 (mm)	8,0 / 7,9 / 8,3	7,8 / 7,9 / 9,3	7,5 / 8,8 / 8,1	8,2 / 7,6 / 7,1
M1 (cm <sup>2</sup> )	6,9 / 7,4 / 7,7	8,0 / 8,3 / 8,4	7,6 / 7,3 / 6,8	7,9 / 8,7 / 8,0
M2 (cm <sup>2</sup> )	8,4 / 7,0 / 8,1	9,5 / 8,2 / 8,6	7,7 / 7,9 / 7,5	9,2 / 8,5 / 8,9
M3 (cm <sup>2</sup> )	7,1 / 8,2 / 8,1	8,6 / 8,8 / 8,6	8,2 / 7,9 / 8,5	8,9 / 9,3 / 9,1
L (cm)	8,2 / 8,0 / 7,9	8,2 / 8,2 / 7,7	7,8 / 7,8 / 7,5	7,8 / 7,8 / 8,0

### Serena

	Gauche		Droite	
	Opérateur 1	Opérateur 2	Opérateur 1	Opérateur 2
A1 (mm)	9,3 / 9,5 / 11,5	9,8 / 11,0 / 10,7	9,6 / 10,4 / 9,9	9,5 / 9,1 / 10,1
A2 (mm)	7,9 / 9,6 / 8,6	7,3 / 7,8 / 7,7	8,6 / 8,2 / 8,3	6,5 / 7,1 / 7,1
A3 (mm)	8,1 / 8,7 / 8,8	9,0 / 9,0 / 8,1	7,8 / 8,1 / 8,1	7,3 / 8,8 / 8,0
M1 (cm <sup>2</sup> )	8,2 / 7,5 / 7,3	8,9 / 6,9 / 8,4	7,7 / 7,9 / 7,5	8,4 / 7,8 / 7,2
M2 (cm <sup>2</sup> )	7,0 / 8,5 / 8,0	8,1 / 8,1 / 7,9	7,3 / 9,7 / 8,7	7,9 / 8,2 / 7,1
M3 (cm <sup>2</sup> )	8,5 / 7,7 / 8,2	8,1 / 8,8 / 7,8	8,2 / 9,0 / 8,8	7,9 / 8,5 / 7,8
L (cm)	9,1 / 8,7 / 8,7	8,9 / 8,8 / 8,8	9,4 / 8,8 / 9,3	8,8 / 8,6 / 8,6

### Tabor

	Gauche		Droite	
	Opérateur 1	Opérateur 2	Opérateur 1	Opérateur 2
A1 (mm)	7,4 / 8,2 / 7,5	6,9 / 7,1 / 7,1	7,5 / 8,0 / 8,8	7,8 / 8,2 / 6,8
A2 (mm)	7,4 / 7,5 / 7,4	7,5 / 7,1 / 6,0	7,3 / 7,8 / 7,0	7,4 / 6,9 / 7,3
A3 (mm)	8,0 / 7,4 / 7,3	6,1 / 7,0 / 6,3	6,5 / 7,4 / 7,5	7,4 / 7,0 / 7,3
M1 (cm <sup>2</sup> )	8,6 / 10,3 / 9,7	11,6 / 10,7 / 11,2	9,0 / 9,5 / 8,5	9,9 / 11,2 / 10,7
M2 (cm <sup>2</sup> )	10,5 / 10,7 / 9,8	11,7 / 11,1 / 12,6	10,6 / 10,8 / 10,4	11,6 / 12,1 / 11,3
M3 (cm <sup>2</sup> )	13,7 / 11,1 / 11,0	10,9 / 13,4 / 13,9	11,9 / 11,4 / 10,0	13,2 / 10,7 / 11,7
L (cm)	9,3 / 8,8 / 8,8	9,2 / 9,4 / 9,4	8,6 / 8,7 / 8,8	8,9 / 9,3 / 8,9

## **Annexe 4**

Valeurs moyennes, minimales (V min) et maximales (V max) des mesures réalisées chez les chevaux du groupe 1 :

### Globule

	A1 (mm)	A2 (mm)	A3 (mm)	M1 (cm <sup>2</sup> )	M2 (cm <sup>2</sup> )	M3 (cm <sup>2</sup> )	L (cm)
Moyenne	6,0	5,5	5,9	7,1	7,0	7,8	8,5
V min	5,7	4,9	5,4	6,0	6,5	6,7	8,1
V max	6,8	6,0	6,4	8,2	7,7	9,1	8,8

### Hermès

	A1 (mm)	A2 (mm)	A3 (mm)	M1 (cm <sup>2</sup> )	M2 (cm <sup>2</sup> )	M3 (cm <sup>2</sup> )	L (cm)
Moyenne	7,0	5,0	5,3	6,9	7,2	7,5	8,7
V min	5,4	4,5	4,3	6,1	5,7	6,6	8,2
V max	7,9	5,6	6,0	7,5	8,7	8,2	9,1

### Maman

	A1 (mm)	A2 (mm)	A3 (mm)	M1 (cm <sup>2</sup> )	M2 (cm <sup>2</sup> )	M3 (cm <sup>2</sup> )	L (cm)
Moyenne	7,0	5,3	5,4	6,6	7,5	7,7	7,9
V min	5,9	4,3	4,1	5,2	6,6	7,0	7,1
V max	8,2	6,8	6,4	7,3	9,1	9,1	8,7

### Montaigne

	A1 (mm)	A2 (mm)	A3 (mm)	M1 (cm <sup>2</sup> )	M2 (cm <sup>2</sup> )	M3 (cm <sup>2</sup> )	L (cm)
Moyenne	6,7	6,1	7,0	8,9	9,1	8,7	9,3
V min	6,4	5,6	6,3	8,0	8,1	7,5	8,8
V max	7,2	6,8	7,6	10,2	11,2	10,4	10,5

New

	A1 (mm)	A2 (mm)	A3 (mm)	M1 (cm <sup>2</sup> )	M2 (cm <sup>2</sup> )	M3 (cm <sup>2</sup> )	L (cm)
Moyenne	6,0	4,8	5,1	6,5	7,8	8,4	7,6
V min	4,6	4,5	4,5	5,6	7,0	7,2	7,1
V max	6,8	5,0	5,6	7,2	8,8	9,4	8,4

Ophélie A

	A1 (mm)	A2 (mm)	A3 (mm)	M1 (cm <sup>2</sup> )	M2 (cm <sup>2</sup> )	M3 (cm <sup>2</sup> )	L (cm)
Moyenne	6,8	4,8	5,0	6,8	6,6	7,6	8,2
V min	6,1	4,3	4,5	5,9	5,2	6,7	7,2
V max	7,6	5,4	5,5	7,8	7,7	8,3	9,0

Ophélie B

	A1 (mm)	A2 (mm)	A3 (mm)	M1 (cm <sup>2</sup> )	M2 (cm <sup>2</sup> )	M3 (cm <sup>2</sup> )	L (cm)
Moyenne	5,4	5,4	5,6	7,0	6,7	7,1	7,5
V min	4,7	5,0	5,0	6,5	5,5	6,3	6,9
V max	5,7	5,9	6,3	7,5	8,0	8,1	7,8

Renardo

	A1 (mm)	A2 (mm)	A3 (mm)	M1 (cm <sup>2</sup> )	M2 (cm <sup>2</sup> )	M3 (cm <sup>2</sup> )	L (cm)
Moyenne	6,4	6,0	5,2	9,3	6,5	8,2	7,5
V min	5,1	5,1	3,4	7,1	5,8	7,5	6,8
V max	7,6	7,0	6,6	10,5	7,4	9,3	8,4

## **Annexe 5**

Valeurs moyennes, minimales (V min) et maximales (V max) des mesures réalisées chez les chevaux du groupe 2 :

Noreen

	A1 (mm)	A2 (mm)	A3 (mm)	M1 (cm <sup>2</sup> )	M2 (cm <sup>2</sup> )	M3 (cm <sup>2</sup> )	L (cm)
Moyenne	6,7	6,8	6,8	8,6	8,3	9,4	9,4
V min	6,2	5,9	6,2	7,5	6,9	7,6	9,0
V max	7,4	7,7	7,5	9,7	9,6	10,7	10,3

Louna

	A1 (mm)	A2 (mm)	A3 (mm)	M1 (cm <sup>2</sup> )	M2 (cm <sup>2</sup> )	M3 (cm <sup>2</sup> )	L (cm)
Moyenne	11,6	10,3	11,7	9,1	8,6	8,1	7,4
V min	10,5	8,8	9,8	6,7	7,4	6,1	7,1
V max	13,0	11,7	13,2	10,2	9,4	9,7	7,7

Najma

	A1 (mm)	A2 (mm)	A3 (mm)	M1 (cm <sup>2</sup> )	M2 (cm <sup>2</sup> )	M3 (cm <sup>2</sup> )	L (cm)
Moyenne	7,9	6,7	6,0	8,7	8,2	8,5	8,2
V min	6,6	6,1	5,0	6,8	7,5	7,0	7,3
V max	9,3	7,5	7,1	10,7	9,4	9,7	9,4

### Passion

	A1 (mm)	A2 (mm)	A3 (mm)	M1 (cm <sup>2</sup> )	M2 (cm <sup>2</sup> )	M3 (cm <sup>2</sup> )	L (cm)
Moyenne	9,1	6,0	6,6	9,4	8,9	9,7	9,4
V min	8,4	5,3	5,3	7,5	7,7	8,7	8,9
V max	9,8	7,0	7,9	11,4	10,3	10,6	9,9

### Patient

	A1 (mm)	A2 (mm)	A3 (mm)	M1 (cm <sup>2</sup> )	M2 (cm <sup>2</sup> )	M3 (cm <sup>2</sup> )	L (cm)
Moyenne	9,0	7,8	9,4	9,4	10,1	9,8	9,3
V min	7,3	7,0	7,8	7,3	8,2	7,3	8,8
V max	10,2	8,7	11,4	11,0	11,1	12,4	10,0

### Phebus

	A1 (mm)	A2 (mm)	A3 (mm)	M1 (cm <sup>2</sup> )	M2 (cm <sup>2</sup> )	M3 (cm <sup>2</sup> )	L (cm)
Moyenne	6,2	5,4	7,5	8,5	9,0	9,3	7,9
V min	5,9	4,7	7,0	6,8	7,8	7,2	7,5
V max	6,6	6,2	7,9	10,4	11,9	11,1	8,2

### Quiz

	A1 (mm)	A2 (mm)	A3 (mm)	M1 (cm <sup>2</sup> )	M2 (cm <sup>2</sup> )	M3 (cm <sup>2</sup> )	L (cm)
Moyenne	7,4	5,5	6,9	7,2	7,6	7,7	7,2
V min	6,2	4,6	5,9	6,0	6,8	6,8	6,5
V max	8,6	6,6	7,9	8,8	8,3	8,7	7,6

### Sire

	A1 (mm)	A2 (mm)	A3 (mm)	M1 (cm <sup>2</sup> )	M2 (cm <sup>2</sup> )	M3 (cm <sup>2</sup> )	L (cm)
Moyenne	8,7	7,4	8,4	9,1	8,9	9,3	9,2
V min	7,8	6,9	7,4	7,8	7,3	8,2	8,7
V max	9,7	8,5	9,2	10,3	10,4	10,8	10,0

## **Annexe 6**

Valeurs moyennes, minimales (V min) et maximales (V max) des mesures réalisées chez les chevaux du groupe 3 :

### De Nyla

	A1 (mm)	A2 (mm)	A3 (mm)	M1 (cm <sup>2</sup> )	M2 (cm <sup>2</sup> )	M3 (cm <sup>2</sup> )	L (cm)
Moyenne	12,8	9,4	9,8	7,0	7,3	7,1	8,1
V min	10,1	8,7	8,9	6,4	6,6	6,1	7,6
V max	14,5	11,2	10,3	7,7	8,5	7,8	8,7

### Figaro

	A1 (mm)	A2 (mm)	A3 (mm)	M1 (cm <sup>2</sup> )	M2 (cm <sup>2</sup> )	M3 (cm <sup>2</sup> )	L (cm)
Moyenne	11,7	7,9	8,5	7,2	8,2	8,5	8,9
V min	10,3	7,3	7,6	5,5	6,5	7,1	8,5
V max	13,8	8,8	10,1	9,4	9,6	10,7	9,7

### Mel

	A1 (mm)	A2 (mm)	A3 (mm)	M1 (cm <sup>2</sup> )	M2 (cm <sup>2</sup> )	M3 (cm <sup>2</sup> )	L (cm)
Moyenne	10,4	8,5	9,4	9,5	9,3	9,3	10,2
V min	9,3	7,6	8,5	8,3	7,5	8,0	9,2
V max	11,5	9,3	10,0	10,3	10,3	10,7	10,7

### Rafale

	A1 (mm)	A2 (mm)	A3 (mm)	M1 (cm <sup>2</sup> )	M2 (cm <sup>2</sup> )	M3 (cm <sup>2</sup> )	L (cm)
Moyenne	9,3	7,5	8,0	7,8	8,3	8,4	7,9
V min	8,0	6,3	7,1	6,8	7,0	7,1	7,5
V max	10,2	9,0	9,3	8,7	9,5	9,3	8,2

### Serena

	A1 (mm)	A2 (mm)	A3 (mm)	M1 (cm <sup>2</sup> )	M2 (cm <sup>2</sup> )	M3 (cm <sup>2</sup> )	L (cm)
Moyenne	10,0	7,9	8,3	7,8	8,0	8,2	8,9
V min	9,1	6,5	7,3	6,9	7,0	7,7	8,6
V max	11,5	9,6	9,0	8,9	9,7	9,0	9,4

### Tabor

	A1 (mm)	A2 (mm)	A3 (mm)	M1 (cm <sup>2</sup> )	M2 (cm <sup>2</sup> )	M3 (cm <sup>2</sup> )	L (cm)
Moyenne	7,6	7,2	7,1	10,1	11,1	11,9	9,0
V min	6,8	6,0	6,1	8,5	9,8	10,0	8,6
V max	8,8	7,8	8,0	11,6	11,7	13,9	9,4

## **Annexe 7**

### Mesures des processus épineux des chevaux du groupe 1

#### Globule

	Opérateur 1	Opérateur 2	Moyenne
PE1 (cm)	4,6 / 5,5 / 5,5	4,6 / 4,5 / 5,3	5,0
PE2 (cm)	4,7 / 5,0 / 4,5	4,1 / 4,1 / 4,2	4,4
PE3 (cm)	6,6 / 6,1 / 6,2	5,7 / 5,7 / 6,0	6,1

#### Hermès

	Opérateur 1	Opérateur 2	Moyenne
PE1 (cm)	5,2 / 5,1 / 5,2	5,0 / 4,9 / 5,0	5,1
PE2 (cm)	5,2 / 4,9 / 4,8	5,5 / 5,5 / 4,7	5,1
PE3 (cm)	6,5 / 5,8 / 6,5	6,3 / 6,3 / 5,8	6,2

#### Maman

	Opérateur 1	Opérateur 2	Moyenne
PE1 (cm)	5,5 / 6,2 / 5,6	4,9 / 4,5 / 4,5	5,2
PE2 (cm)	5,8 / 6,0 / 6,3	5,3 / 4,8 / 5,2	5,6
PE3 (cm)	7,0 / 6,8 / 7,2	5,1 / 5,7 / 5,0	6,1

### Montaigne

	Opérateur 1	Opérateur 2	Moyenne
PE1 (cm)	5,2 / 5,0 / 5,8	5,0 / 6,0 / 5,5	5,4
PE2 (cm)	5,0 / 5,0 / 5,1	4,9 / 5,2 / 5,1	5,1
PE3 (cm)	6,9 / 6,2 / 7,0	6,7 / 7,3 / 6,5	6,8

### New

	Opérateur 1	Opérateur 2	Moyenne
PE1 (cm)	4,9 / 4,3 / 4,3	4,8 / 4,7 / 4,5	4,6
PE2 (cm)	5,1 / 5,0 / 5,1	5,3 / 5,0 / 5,1	5,1
PE3 (cm)	5,9 / 5,6 / 5,2	5,5 / 5,5 / 5,7	5,6

### Ophélie A

	Opérateur 1	Opérateur 2	Moyenne
PE1 (cm)	5,5 / 4,9 / 4,7	4,9 / 4,1 / 4,6	4,8
PE2 (cm)	5,1 / 5,3 / 4,8	4,9 / 5,0 / 5,2	5,1
PE3 (cm)	6,4 / 6,5 / 6,6	5,2 / 5,4 / 5,4	5,9

### Ophélie B

	Opérateur 1	Opérateur 2	Moyenne
PE1 (cm)	4,8 / 4,6 / 5,0	4,4 / 4,4 / 4,5	4,6
PE2 (cm)	5,3 / 5,1 / 4,9	4,9 / 4,6 / 4,7	4,9
PE3 (cm)	5,7 / 6,0 / 5,6	5,1 / 5,2 / 5,4	5,5

### Renardo

	Opérateur 1	Opérateur 2	Moyenne
PE1 (cm)	6,5 / 6,3 / 6,2	5,9 / 4,1 / 4,8	5,6
PE2 (cm)	4,6 / 5,2 / 4,8	5,0 / 4,5 / 4,4	4,8
PE3 (cm)	6,2 / 5,9 / 5,6	5,5 / 5,0 / 4,5	5,5

## **Annexe 8**

Mesures des processus épineux des chevaux du groupe 2 :

### Noreen

	Opérateur 1	Opérateur 2	Moyenne
PE1 (cm)	5,6 / 6,4 / 5,6	5,4 / 4,8 / 5,3	5,5
PE2 (cm)	6,4 / 6,0 / 6,1	5,5 / 4,6 / 4,3	5,5
PE3 (cm)	7,1 / 6,9 / 6,8	6,5 / 6,3 / 6,6	6,7

### Louna

	Opérateur 1	Opérateur 2	Moyenne
PE1 (cm)	5,0 / 5,6 / 5,5	5,6 / 5,1 / 5,7	5,4
PE2 (cm)	6,2 / 5,7 / 5,8	5,9 / 5,4 / 5,4	5,7
PE3 (cm)	6,4 / 6,4 / 6,2	5,7 / 6,2 / 5,9	6,1

### Najma

	Opérateur 1	Opérateur 2	Moyenne
PE1 (cm)	5,5 / 5,2 / 5,5	4,5 / 3,8 / 4,3	4,8
PE2 (cm)	5,4 / 5,5 / 5,3	4,6 / 5,0 / 4,9	5,1
PE3 (cm)	6,4 / 5,5 / 5,6	5,3 / 5,1 / 5,0	5,5

### Passion

	Opérateur 1	Opérateur 2	Moyenne
PE1 (cm)	7,0 / 5,9 / 6,2	4,9 / 5,9 / 5,3	5,9
PE2 (cm)	5,5 / 5,6 / 6,5	5,1 / 5,6 / 5,4	5,6
PE3 (cm)	6,5 / 6,0 / 6,7	5,7 / 6,5 / 5,9	6,2

### Patient

	Opérateur 1	Opérateur 2	Moyenne
PE1 (cm)	6,2 / 5,6 / 5,3	5,3 / 4,9 / 5,0	5,4
PE2 (cm)	5,7 / 5,9 / 5,5	5,5 / 5,7 / 5,8	5,7
PE3 (cm)	5,5 / 5,2 / 6,3	6,0 / 5,9 / 5,9	5,8

### Phébus

	Opérateur 1	Opérateur 2	Moyenne
PE1 (cm)	5,2 / 5,0 / 5,5	5,3 / 5,2 / 4,8	5,2
PE2 (cm)	5,7 / 5,7 / 5,5	5,1 / 5,4 / 5,0	5,4
PE3 (cm)	6,4 / 6,1 / 6,2	5,3 / 5,8 / 5,4	5,9

### Quiz

	Opérateur 1	Opérateur 2	Moyenne
PE1 (cm)	5,5 / 5,5 / 5,6	4,5 / 5,2 / 5,3	5,3
PE2 (cm)	6,3 / 5,2 / 6,3	5,3 / 5,4 / 5,1	5,6
PE3 (cm)	7,2 / 6,9 / 7,1	6,4 / 5,7 / 6,1	6,6

### Sire

	Opérateur 1	Opérateur 2	Moyenne
PE1 (cm)	5,4 / 5,2 / 5,7	5,7 / 5,2 / 5,0	5,4
PE2 (cm)	5,2 / 5,1 / 5,2	4,9 / 5,2 / 4,5	5,0
PE3 (cm)	6,1 / 6,1 / 5,6	6,0 / 5,9 / 6,7	6,1

## **Annexe 9**

Mesures des processus épineux des chevaux du groupe 3 :

### De Nyla

	Opérateur 1	Opérateur 2	Moyenne
PE1 (cm)	5,1 / 5,4 / 5,1	4,7 / 4,6 / 4,6	4,9
PE2 (cm)	5,1 / 5,1 / 5,1	4,9 / 4,6 / 4,5	4,9
PE3 (cm)	6,2 / 6,4 / 5,5	5,2 / 5,3 / 5,2	5,6

### Figaro

	Opérateur 1	Opérateur 2	Moyenne
PE1 (cm)	5,7 / 5,0 / 5,3	4,5 / 4,2 / 4,4	4,9
PE2 (cm)	6,2 / 6,6 / 6,1	4,9 / 5,3 / 5,5	5,8
PE3 (cm)	6,5 / 6,4 / 6,5	5,9 / 5,4 / 5,3	6,0

### Mel

	Opérateur 1	Opérateur 2	Moyenne
PE1 (cm)	6,2 / 5,5 / 6,1	5,4 / 5,8 / 5,5	5,8
PE2 (cm)	6,1 / 6,0 / 5,8	5,6 / 5,4 / 5,2	5,7
PE3 (cm)	6,4 / 6,0 / 6,9	6,2 / 6,7 / 6,7	6,5

### Rafale

	Opérateur 1	Opérateur 2	Moyenne
PE1 (cm)	4,7 / 5,5 / 4,8	4,7 / 5,2 / 5,1	5,0
PE2 (cm)	5,4 / 6,0 / 5,8	4,9 / 5,0 / 4,7	5,3
PE3 (cm)	6,4 / 5,9 / 5,5	5,2 / 5,5 / 5,4	5,7

### Serena

	Opérateur 1	Opérateur 2	Moyenne
PE1 (cm)	5,6 / 5,4 / 5,9	5,1 / 5,2 / 4,9	5,4
PE2 (cm)	5,8 / 5,8 / 5,4	4,7 / 5,6 / 5,4	5,9
PE3 (cm)	6,5 / 6,1 / 6,3	5,9 / 6,2 / 6,0	6,2

### Tabor

	Opérateur 1	Opérateur 2	Moyenne
PE1 (cm)	5,9 / 6,5 / 5,6	4,9 / 4,7 / 5,2	5,5
PE2 (cm)	6,1 / 6,1 / 5,7	5,5 / 5,6 / 5,2	5,7
PE3 (cm)	7,8 / 7,4 / 6,5	5,9 / 6,5 / 6,0	6,7

## **Annexe 10**

Mesures des muscles multifide et longissimus normalisées par la hauteur des processus épineux chez les chevaux du groupe 1 :

### Globule

	M1/PE1 (cm)	M2/PE2 (cm)	L/PE3
Moyenne	1,4	1,6	1,4

### Hermès

	M1/PE1 (cm)	M2/PE2 (cm)	L/PE3
Moyenne	1,4	1,4	1,4

### Maman

	M1/PE1 (cm)	M2/PE2 (cm)	L/PE3
Moyenne	1,3	1,3	1,3

### Montaigne

	M1/PE1 (cm)	M2/PE2 (cm)	L/PE3
Moyenne	1,6	1,8	1,4

### New

	M1/PE1 (cm)	M2/PE2 (cm)	L/PE3
Moyenne	1,4	1,5	1,4

### Ophélie A

	M1/PE1 (cm)	M2/PE2 (cm)	L/PE3
Moyenne	1,4	1,3	1,4

### Ophélie B

	M1/PE1 (cm)	M2/PE2 (cm)	L/PE3
Moyenne	1,5	1,4	1,4

### Renardo

	M1/PE1 (cm)	M2/PE2 (cm)	L/PE3
Moyenne	1,7	1,4	1,4

## **Annexe 11**

Mesures des muscles multifide et longissimus normalisées par la hauteur des processus épineux chez les chevaux du groupe 2 :

### Noreen

	M1/PE1 (cm)	M2/PE2 (cm)	L/PE3
Moyenne	1,6	1,5	1,4

### Louna

	M1/PE1 (cm)	M2/PE2 (cm)	L/PE3
Moyenne	1,7	1,5	1,2

### Najma

	M1/PE1 (cm)	M2/PE2 (cm)	L/PE3
Moyenne	1,8	1,6	1,5

### Passion

	M1/PE1 (cm)	M2/PE2 (cm)	L/PE3
Moyenne	1,6	1,6	1,5

### Patient

	M1/PE1 (cm)	M2/PE2 (cm)	L/PE3
Moyenne	1,7	1,8	1,6

### Phebus

	M1/PE1 (cm)	M2/PE2 (cm)	L/PE3
Moyenne	1,6	1,7	1,3

### Quiz

	M1/PE1 (cm)	M2/PE2 (cm)	L/PE3
Moyenne	1,4	1,4	1,1

### Sire

	M1/PE1 (cm)	M2/PE2 (cm)	L/PE3
Moyenne	1,7	1,8	1,5

## **Annexe 12**

Mesures des muscles multifide et longissimus normalisées par la hauteur des processus épineux chez les chevaux du groupe 3 :

### De Nyla

	M1/PE1 (cm)	M2/PE2 (cm)	L/PE3
Moyenne	1,4	1,5	1,4

### Figaro

	M1/PE1 (cm)	M2/PE2 (cm)	L/PE3
Moyenne	1,5	1,4	1,5

### Mel

	M1/PE1 (cm)	M2/PE2 (cm)	L/PE3
Moyenne	1,6	1,6	1,6

### Rafale

	M1/PE1 (cm)	M2/PE2 (cm)	L/PE3
Moyenne	1,6	1,6	1,4

### Serena

	M1/PE1 (cm)	M2/PE2 (cm)	L/PE3
Moyenne	1,4	1,4	1,4

### Tabor

	M1/PE1 (cm)	M2/PE2 (cm)	L/PE3
Moyenne	1,8	1,9	1,3

# **BIBLIOGRAPHIE**

1. ARCHER D.C., BOSWELL J.C., VOUTE L.C., CLEGG P.D.: Skeletal scintigraphy in the horse: current indications and validity as a diagnostic test. *The Veterinary Journal*, 2007, numéro 173, 31-44.
2. AUDIGIE F., POURCELOT P., DEGUEURCE C., DENOIX J.M., GEIGER D.: Kinematics of the equine back: flexion-extension movements in sound trotting horses. *Equine Veterinary Journal*, 1999, suppl 30, 210-213.
3. AUDIGIE F., DIDIERLAURENT D., CARNICER D., DENOIX J.M. : Examen radiographique du dos du cheval. *Pratique Vétérinaire Equine*, 2008, volume 40, numéro spécial pathologies du rachis des équidés, 55-61.
4. BARONE R. : Anatomie comparée des mammifères domestiques. Tome 1 : ostéologie; Vigot, Paris, 1986, 761p.
5. BARONE R. : Anatomie comparée des mammifères domestiques. Tome 2 : arthrologie et myologie; Vigot, Paris, 1989, 984p.
6. BARREY E., BLANCHARD G., ORANGE F.: Analyse cinématique du saut chez le cheval de concours hippique. *Recueil de Médecine Vétérinaire*, 1993, tome 169 n°1, 37-43.
7. BIZON C. : Analyse biomécanique des mouvements du cheval de dressage. Application à l'étude de certains exercices d'assouplissement. Thèse de Doctorat Vétérinaire, Nantes, 2005, 182p.
8. BLYTHE L.L., ENGEL H.N.: Neuroanatomy and neurological examination. *Veterinary Clinics of North America. Equine Practice*, 1999, volume 15, numéro 1, 71-85.
9. BOUDARD J.M.: Le stretching pour votre cheval. Optipress, 2001, 127p.
10. CADORE J.L. : Apports de l'examen du système nerveux lors d'affection vertébrale. *Pratique Vétérinaire Equine*, 2008, volume 40, numéro spécial pathologies du rachis des équidés, 33-37.
11. CARNICER D., COUDRY V., AUDIGIE F., DIDIERLAURENT D., DENOIX J.M. : Examen scintigraphique du dos chez le cheval, *Pratique Vétérinaire Equine*, 2008, volume 40, numéro spécial pathologies du rachis des équidés, 63-67.
12. CASSIAT-MORRISSET G: Etude cinématique des mouvements du dos du cheval de saut d'obstacle. Thèse de doctorat vétérinaire, Alfort, 2004, 105p.
13. CATINAUD J.: Etude cinématique des mouvements du dos du cheval lors du saut d'une combinaison de type saut de puce. Thèse de doctorat vétérinaire, Alfort, 2005, 54p.
14. CAUVIN E.: Assessment of back pain in horses. *Equine practice*, 1997, volume 19, 522-533.
15. CHARVOLIN S.: Evaluation de l'adéquation selle-dos du cheval par l'ostéopathe.

Mémoire pour l'obtention du diplôme d'ostéopathe animalier, Brighton, 2005, 61p.

16. CLAYTON H.M., TOWNSEND H.G.G : Kinematics of the cervical spine of the adult horse. *Equine Veterinary Journal*, 1989, volume 21, numéro 2, 189-192.

17. CLAYTON H.: Performance in equestrian sports. *Equine locomotion*. WB SAUNDERS, 2001, 384p.

18. COLLIN B. : Anatomie du cheval. Derouaux Ordina, Liège, 2005, 690p.

19. DENOIX J.M. : Analyse mécanique de la descente d'encolure. *L'Eperon*, numéro 45, 1987, 74-77.

20. DENOIX J.M. : Analyse mécanique des déplacements latéraux. *L'Eperon*, numéro 48, 1987, 88-93.

21. DENOIX J.M. : Analyse mécanique des déplacements latéraux. *L'Eperon*, numéro 51, 1987, 80-84.

22. DENOIX J.M. : Biomécanique et travail physique du cheval. *L'Eperon spécial vétérinaire*, numéro 2, 1988, 7-11.

23. DENOIX J.M. : Mécanique de la colonne vertébrale. *L'Eperon spécial vétérinaire*, numéro 2, 1988, 17-21.

24. DENOIX J.M.: Approche mécanique des allures et du saut chez le cheval. *Science et sports*, 1991, numéro 6, 117-124.

25. DENOIX J.M.: Aspects fonctionnels des régions lombo-sacrée et sacro-iliaque du cheval, *Pratique Vétérinaire Equine*, 1992, volume 24, numéro 1, 13-21.

26. DENOIX J.M.: Approche sémiologique des régions lombo-sacrées et sacro-iliaques chez le cheval. *Pratique Vétérinaire Equine*, 1992, volume 24, numéro 1, 23-28.

27. DENOIX J.M. : Approche de la kinésithérapie du cheval. 2<sup>ème</sup> édition. Maloine, Paris, 1997, 291p.

28. DENOIX J.M.: Spinal biomechanics and functional anatomy. *Veterinary Clinics of North America. Equine Practice*, 1999, volume 15, numéro 1, 27-60.

29. DENOIX J.M.: Ultrasonographic evaluation of back lesions. *Veterinary Clinics of North America. Equine Practice*, 1999, volume 15, numéro 1, 131-159.

30. DENOIX J.M., AUDIGIE F.: The neck and back. *Equine locomotion*. WB SAUNDERS, 2001, 384p.

31. DESBROSSE F. : L'examen clinique du dos chez le trotteur, *Pratique Vétérinaire Equine*, 2008, volume 40, numéro spécial pathologies du rachis des équidés, 23-32.

32. EURELL J.A., FRAPPIER B.L: Dellmann's textbook of veterinary histology. Blackwell publishing, sixième édition, 2006, 405p.

33. EVRARD P. : Introduction à l'ostéopathie structurale appliquée au cheval. Editions de Parry, 2005, 411p.
34. FABER M., SCHANHARDT H., VAN WEEREN R., JOHNSTON C., ROEPSTORFF L., BARNEVELD A.: Basic three dimensional kinematics of the vertebral column of horses walking on a treadmill. American Journal of Veterinary Research, 2000, volume 61, numéro 4, 399-406.
35. FABER M., JOHNSTON C., SCHAMHARDT H.C., VAN WEEREN P.R., ROEPSTORFF L., BARNEVELD A. : Three-dimensional spinal kinematics during canter. Equine Veterinary Journal, 2001, suppl 33, 145-149.
36. FABER M., SCHANHARDT H., VAN WEEREN R., JOHNSTON C., ROEPSTORFF L., BARNEVELD A.: Basic three dimensional kinematics of the vertebral column of horses trotting on a treadmill. American Journal of Veterinary Research, 2001, volume 62, numéro 5, 757-764.
37. FEDERATION FRANCAISE D'EQUITATION : Etre cavalier galops 5, 6, 7. Lavauzelle, Paris, 1995, 127p.
38. FINTL C.: The neurological examination. Kinematics of the Equine Back. Equine Back Pathology. Diagnosis and Treatment. Blackwell Publishing, 2009, 266p.
39. FREYSSENET D.: Mécanismes cellulaires et moléculaires du contrôle de la masse musculaire lors d'un entraînement en force. Science et sports, 2006, numéro 21, 74-79.
40. GALLOUX P., BARREY E.: Components of the total kinetic moment in jumping horses. Equine Veterinary Journal, 1997, suppl 23, 41-44.
41. GANGL M. : L'examen clinique de la colonne vertébrale et des tissus mous associés chez le cheval de selle. Pratique Vétérinaire Equine, 2008, volume 40, numéro spécial pathologies du rachis des équidés, 17-22.
42. GENOT S.: Dorsalgies chez le cheval de concours hippique: prevention par des exercices de musculation et d'assouplissement. Thèse de doctorat vétérinaire, Lyon, 1995, 65p.
43. GOMEZ ALVAREZ C.B., RHODIN M., BOBBERT M.F., MEYER H., WEISHAUP M.A., JOHNSTON C., VAN WEEREN P.R.: The effect of head and neck position on the thoracolumbar kinematics in the unriden horse. Equine Veterinary Journal, 2006, suppl 36, 445-451.
44. GRAF VON SCHWEINITZ D.: Thermographic diagnostics in equine back pain. Veterinary Clinics of North America, Equine Practice, 1999, volume 15, numéro 1, 161-177.
45. HAUSSLER K.K., BERTRAM J.E.A., GELLMAN K., HERMANSON J.W: Segmental in vivo vertebral kinematics at the walk, trot and canter: a preliminary study. Equine Veterinary Journal, 2001, suppl 33, 160-164.
46. HENCKEL P.: Training and growth induced changes in the middle gluteal muscle of young Standardbred trotters. Equine Veterinary Journal, volume 15, numéro 2, 1983, 134-140.

47. HENSON M.D.: Radiography. Kinematics of the Equine Back. Equine Back Pathology. Diagnosis and Treatment. Blackwell Publishing, 2009, 266p.
48. HINCHCLIFF K.W., KANEPS A.J., GEOR R.J.: Equine sports medicine and surgery. Basic and clinical sciences of the equine athlete. Saunders, 2004, 1364p.
49. HINCHCLIFF K.W., GEOR R.J., KANEPS A.J.: Equine exercise physiology. The science of exercise in the athletic horse. Saunders, 2008, 463p.
50. JEFFCOTT L.B.: The diagnosis of diseases of the horse's back. Equine Veterinary Journal, 1975, volume 7, numéro 2, 69-78.
51. JEFFCOTT L.B., DALIN G.: Natural rigidity of the horse's backbone, Equine Veterinary Journal, 1980, volume 12, numéro 3, 101-108.
52. JEFFCOTT L.B.: Disorders of the thoracolumbar spine of the horse – a survey of 443 cases. Equine Veterinary Journal, 1980, volume 12, numéro 4, 197-210.
53. JEFFCOTT L.B.: Historical perspective and clinical indications. Veterinary Clinics of North America. Equine Practice, 1999, volume 15, numéro 1, 1-12.
54. JOHNSTON C., HOLM K., FABER M., ERICHSEN C., EKSELL P., DREVEMO S.: Effect of conformational aspects on the movement of the equine back. Equine Veterinary Journal, 2002, suppl 34, 314-318.
55. KARAGOUNIS L.G., HAWLEY J.A.: Skeletal muscle: Increasing the size of the locomotor cell. The International Journal of Biochemistry & Cell Biology, numéro 42, 2010, 1376-1379.
56. LAMAS L.P., HEAD M.J.: Ultrasonography of the thoracolumbar region. Kinematics of the Equine Back. Equine Back Pathology. Diagnosis and Treatment. Blackwell Publishing, 2009, 266p.
57. LANDMAN M.A.A.M., DE BLAAUW J.A., VAN WEEREN P.R., HOFLAND L.J.: Field study of the prevalence of lameness in horses with back problems. Veterinary Record, 2004, numéro 155, 165-168.
58. LICKA F., PEHAM C., FREY A.: Electromyographic activity of the longissimus dorsi muscles in horses during trotting on a treadmill. American Journal of Veterinary Research, volume 65, numéro 2, 2004, 155-158.
59. LICKA T., FREY A., PEHAM C.: Electromyographic activity of the longissimus dorsi muscles in horses when walking on a treadmill. The Veterinary Journal, 2009, numéro 180, 71-76.
60. LINDNER A., SIGNORI R., VASSALLO J., TOMATIS F., FLORES F.M., GAGLIANO M.E., CURIOTTI J., TERRAGONA E. : Reproducibility and repeatability of equine muscle thickness measurements with ultrasound. Journal of Equine Veterinary Science, volume 30, numéro 11, 2010, 635-640.
61. MARLIN D., NANKERVIS K.: Equine exercise physiology. Blackwell Publishing, 2002, 296p.

62. MARTIN B.B., KLIDE A.M.: Physical examination of horses with back pain. *Veterinary Clinics of North America. Equine Practice*, 1999, volume 15, numéro 1, 61-70.
63. MC GOWAN C., STUBBS N., HODGES P., JEFFCOTT L.: *Back Pain in Horses. Epaxial Musculature*. Australian Government, Rural Industries Research and Development Corporation, 2007, publication numéro 07/118, 34p.
64. MIYATA H., SUGIURA T., KAI M., HIRAGAA., TOKURIKI M.: Muscle adaptation of Thoroughbred racehorses trained on a flat or sloped track. *American Journal of Veterinary Research*, volume 60, numéro 12, 1999, 1536-1539.
65. MOULY V., BEAUCHAMP J.: Qu'est ce qu'une cellule satellite musculaire?. *Médecine sciences*, volume 19, numéro 6-7, 2003, 696.
66. MUNROE G.A.: *The clinical examination. Kinematics of the Equine Back. Equine Back Pathology. Diagnosis and Treatment*. Blackwell Publishing, 2009, 266p.
67. NELSON A.: *Nucleat scintigraphy. Kinematics of the Equine Back. Equine Back Pathology. Diagnosis and Treatment*. Blackwell Publishing, 2009, 266p.
68. PAULEKAS R., HASSLER K.K. : *Principles and practice of therapeutic exercise for horses*. *Journal of Equine Veterinary Science*, 2009, volume 29, numéro 12, 882-893.
69. PIERCY R.J., WELLER R. : *Muscular disorders of the equine back. Equine Back Pathology. Diagnosis and Treatment*. Blackwell Publishing, 2009, 266p.
70. PIERRON S. : *Approche biomécanique du dos du cheval. Etude des effets d'un enrênement*. Thèse de Doctorat Vétérinaire, Lyon, 2008, 154p.
71. PILLINER S., ELMHURST S., DAVIES. Z.: *The horse in motion*. Blackwell publishing company, 2002, 19.
72. REEF V.B.: *Musculoskeletal ultrasonography. Equine Diagnostic Ultrasound*, WB Saunders Company, 1998, 70-71.
73. RIVERO J.L.L., CRUZ M.C., SERRANO A.L., DIZ A.M.: Effects of a 3 month endurance training programme on skeletal muscle histochemistry in Andalusian, Arabian and Anglo-Arabian horses. *Equine Veterinary Journal*, volume 27, numéro 1, 1995, 51-59.
74. ROGER T. : *Les muscles de l'axe vertébral*. UP Anatomie comparée, cours de 2007.
75. SAWAYA S. : *Les articulations intervertébrales des mammifères domestiques*. UP Anatomie comparée, cours de septembre 2003, 32p.
76. SAWAYA S. : *Analyse biomécanique des déplacements latéraux appliqués à la réhabilitation du cheval*. IFKA, 2005.
77. SAWAYA S. : *Les parois de la cavité abdomino-pelvienne des mammifères domestiques*. UP Anatomie comparée, Travaux dirigés février 2007, 30p.
78. SAWAYA S., BOULOCHER C.: *Anatomie fonctionnelle du rachis cervical du cheval*.

Pratique Vétérinaire Equine, 2008, volume 40, numéro spécial pathologies du rachis des équidés, 7-16.

79. SEIGNOUR M., JACQUET S., DENOIX J.M. : L'examen échographique de la colonne vertébrale thoraco-lombaire du cheval, Pratique Vétérinaire Equine, 2008, volume 40, numéro spécial pathologies du rachis des équidés, 77-83.

80. SNIJDERS T., VERDIJK L.B., VAN LOON L.J.C.: The impact of sarcopenia and exercise training on skeletal muscle satellite cells. Ageing Research Reviews, numéro 8, 2009, 328-338.

81. STOKES M., RANKIN G., NEWHAM D.J.: Ultrasound imaging of lumbar multifidus muscle: normal reference ranges for measurements and practical guidance on the technique. Manual therapy, 2005, volume 10, 116-126.

82. THUILLIEZ C.: Le cheval de dressage: approche biomécanique et performances. Thèse de doctorat vétérinaire, Lyon, 2003, 226p.

83. TOWNSEND H.G.G., LEACH D.H., FRETZ P.B.: Kinematics of the equine thoracolumbar spine. Equine Veterinary Journal, 1983, volume 15, numéro 2, 117-122.

84. TOWNSEND H., LEACH D.H.: Relationship between intervertebral joint morphology and mobility in the equine thoracolumbar spine. Equine Veterinary Journal, 1984, volume 16, numéro 5, 461-465.

85. TURNER T.A.: Thermography. Kinematics of the Equine Back. Equine Back Pathology. Diagnosis and Treatment. Blackwell Publishing, 2009, 266p.

86. VAN WEEREN P.R. : Kinematics of the Equine Back. Equine Back Pathology. Diagnosis and Treatment. Blackwell Publishing, 2009, 266p.

87. VAN WESSUM R.: Evaluation of back pain by clinical examination. Current therapy in equine medicine. 6<sup>th</sup> edition, Saunders Elsevier, 2009, 1066p.

88. WALLWORK T.L., STANTON W.R., FREKE M., HIDES J.A.: The effect of chronic low back pain on size and contraction of the lumbar multifidus muscle. Manual Therapy, 2009, volume 14, 496-500.

89. WEAVER M.P., JEFFCOTT L.B.: Orthopaedics ' . The vertebral column. Equine medicine, surgery and reproduction. W.B. Saunders company, 1998, 498p.

90. WEAVER M.P., JEFFCOTT L.B., NOWAK M.: Radiology and scintigraphy. Veterinary Clinics of North America. Equine Practice, 1999, volume 15, numéro 1, 113-129.

91. WHITCOMB M.B.: Ultrasonography of the lumbosacral spine and pelvis. Kinematics of the Equine Back. Equine Back Pathology. Diagnosis and Treatment. Blackwell Publishing, 2009, 266p.

**PRACH AMANDINE**

**ETUDE DE LA MUSCULATURE DU RACHIS DU CHEVAL PAR  
MESURES ECHOGRAPHIQUES**

**Thèse d'Etat de Doctorat Vétérinaire : Lyon, le 27 juin 2011**

**RESUME :**

Le rachis du cheval, axe anatomique, fonctionnel et mécanique du squelette, est un organe clé dans la biomécanique. Il supporte également le poids de la selle et du cavalier. La première partie de ce travail souligne la complexité anatomique du dos, son implication dans la biomécanique de l'appareil locomoteur ainsi que l'importance des dorsalgies chez le cheval de sport. Nous avons ensuite mesuré par un examen échographique les masses musculaires mobilisatrices du rachis sur des chevaux ayant différents types d'activités. Cette deuxième partie réalise une comparaison des masses musculaires des chaînes dorsales et ventrales en fonction de l'activité des chevaux. Nous avons utilisé des chevaux ne travaillant pas, des chevaux « polyvalents » et des chevaux de dressage. L'évaluation quantitative de ces muscles à l'aide d'un examen échographique peut être un outil précieux pour le vétérinaire dans l'établissement du diagnostic et le suivi des dorsalgies.

**MOTS CLES :**

- Rachis
- Cheval
- Echographie
- Muscles

**JURY :**

Président :	Madame le Professeur Elvire SERVIEN
1er Assesseur :	Monsieur le Professeur Olivier LEPAGE
2ème Assesseur :	Monsieur le Professeur Serge SAWAYA
Assesseur invité :	Madame Monika GANGL, Maître de conférence

**DATE DE SOUTENANCE : 27 juin 2011**

**ADRESSE DE L'AUTEUR :**

9 les Palatines  
13540 PUYRICARD.